Conseil national de recherches Canada
National Research Council Canada

Division de génie électrique
Division of Electrical Engineering

ERB-978

(Available in English)

Un guide index de la recherche et du développement en robotique au Canada

Laboratoire de robotique et d'automatisation
Departement de génie mécanique
Université de Toronto

Avril 1985

Canada

CNRC No. 24471

86-02685/

Le présent rapport constitue un résumé des travaux effectués à contrat par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC). Sa publication est conforme à la politique du CNRC qui est de diffuser l'information de ce genre auprès de tous les groupes intéressés. Son contenu n'exprime pas nécessairement les opinions ou politiques du Conseil national de recherches du Canada et la mention de marques ou produits commerciaux ne doit pas être considérée comme une approbation ou une recommandation d'utilization. De plus, aucune garantie ni représentation ne peut être faite quant à l'exactitude ou à l'intégralité du contenu du rapport.

This report summarizes work carried out under contract to the National Research Council of Canada. It has been published in accordance with the policy of the National Research Council of Canada of making such information available to all interested groups. Publication by the National Research Council of Canada does not signify that the contents necessarily reflect the views or policies of the National Research Council of Canada, nor does mention of trade names or commercial products constitute endorsement or recommendation for use. Furthermore, no warranty or representation is made with respect to the accuracy or completeness of the information contained in this report.

Copyright 1985 par
Conseil national de recherches du Canada

Copyright 1985 by
National Research Council of Canada

Il est permis de citer de courts extraits et de reproduire des figures ou tableaux du présent rapport, à condition d'en identifier clairement la source.

Permission is granted to quote short excerpts and to reproduce figures and tables from this report, provided that the source of such material is fully acknowledged.

Des exemplaires supplémentaires gratuits peuvent être obtenus à l'adresse suivante:

Bureau des publications, Pièce 301
Division de génie électrique
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario) Canada
K1A 0R8

Additional copies are available free of charge from:

Editorial Office, Room 301
Division of Electrical Engineering
National Research Council of Canada
Ottawa, Ontario, Canada
K1A 0R8

Available in English, NRCC No. 24470

UN GUIDE INDEX DE LA RECHERCHE ET DU DÉVELOPPEMENT EN ROBOTIQUE AU CANADA

Laboratoire de robotique et d'automatisation
Département de génie mécanique
Université de Toronto

ERB-978
CNRC N° 24471

AVRIL 1985

ADDENDA À

"Un guide index de la recherche et du développement en robotique au Canada", ERB-978, page 189

Articles de revues

1. Shih, L.Y. On the elliptic path of an end-effector for an anthropomorphic manipulator. Int. J. Robot. Res. 3(1): 51-57; 1984.

2. Shih, L.Y. Automatic guidance of mobile robots in two-way traffic. Automatica, 21(2): 193-198; 1985.

3. Shih, L.Y Co-ordinated movements to avoid collision of a twin-robot system. Appl. Math. Model. 9(5): 380-384; 1985.

Articles de congrès

1. Shih, L.Y. Stability of automatic guidance for a mobile robot. Proc. Natl. Conf. Artificial Intelligence, août 1982. pp. 396-399.

2. Shih, L.Y. Redundant anthropomorphic manipulator subject to a kinematic constraint. Proc. 1983 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, décembre 1983 - janvier 1984. pp. 676-679.

3. Shih. L.Y. Modelling of collision avoidance for multiple robots in cooperation. Proc. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM) Spring Meeting, juin 1985.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
RÉSUMÉ		vii
1.	INTRODUCTION	1
1.1	Sensibilisation de l'opinion nationale et internationale aux travaux de recherche et de développement en robotique au Canada	1
1.2	Production d'un guide index de la recherche et du développement en robotique au Canada	1
1.2.1	Objectifs	1
1.2.2	Méthodologie	2
1.2.3	Équipe de recherche du guide index	5
1.3	Comment utiliser le guide	6
2.	RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT EN ROBOTIQUE	17
2.1	Recherche et développement en robotique : une définition	17
2.2	La situation au Canada	24
2.2.1	Maisons d'enseignement	24
2.2.2	Secteur privé et gouvernements	28
3.	TRAVAUX DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT DANS LES COLLÈGES ET UNIVERSITÉS	35
3.1	Centres de recherche et de développement	35
	Colombie-Britannique, Université de la	
	Département de génie mécanique	36
	Département de génie électrique	38
	Département d'informatique	40
	Université Simon Fraser	
	Faculté de génie	54
	Département d'informatique	55
	Alberta, Université de	
	Département de génie mécanique	56
	Département de psychologie	57
	Calgary, Université de	
	Département d'informatique	58
	Saskatchewan, Universite de la	
	Département de génie électrique	60
	Manitoba, Université du	
	Département de génie mécanique et de génie industriel	62
	Université Carleton	
	Département de génie mécanique et de génie aéronautique	66

Table des matières (suite)

		Page
	École d'informatique	68
	Centre d'études supérieures en conception et en génie assisté par ordinateur (CASCADE)	69
	Université McMaster	
	Faculté de génie	72
	Université Queen's	
	Laboratoire de robotique de l'Université Queen's	75
	Toronto, Université de	
	Département de génie mécanique	81
	Département de génie électrique	100
	Département de génie industriel	103
	Département d'informatique	105
	Waterloo, Université de	
	Département du génie de conception des systèmes	117
	Western Ontario, Université de	
	Faculté de génie	122
	Université Concordia	
	Département de génie mécanique	123
	École polytechnique (Université de Montréal)	
	Département de génie mécanique	129
	Département de génie électrique	130
	Université McGill	
	Département de génie mécanique	132
	Département de génie électrique	139
	Montréal, Université de	
	Département d'I.R.O	162
	Québec à Trois-Rivières, Université du	
	Départment d'ingéniere	164
	Sherbrooke, Université de	
	Département de génie mécanique	166
	Technologie supérieure, École de (Université du Québec)	
	Département de mécanique	168
	Département de la production automatisée	169
	Nouveau-Brunswick, Université du	
	Faculté de génie	170
	Nouvelle-Écosse, Université technique de la	
	Département de génie mécanique	173
	Département de génie industriel	174
3.2	Centres de formation	176
	Collège Algonquin	177
	Centennial College of Applied Arts & Technology	178

Table des matières (suite)

		Page
	Ryerson Polytechnical Institute	
	Centre d'enseignement de la technologie avancée (CATE) . .	179
	Seneca College of Applied Arts & Technology	180
4.	TRAVAUX DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT DANS LES SECTEURS PUBLIC ET PRIVÉ	181
4.1	Secteur public	181
	Alberta Research Council (ARC)	
	Département du développement industriel	182
	Énergie atomique du Canada Ltée (ÉACL)	
	Les laboratoires de recherche nucléaire de Chalk River . .	183
	Énergie, mines et ressources Canada (EMR)	
	Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET)	185
	Conseil national de recherches du Canada	
	Établissement aéronautique national (CNRC/ÉAN)	187
	Division de génie électrique (CRNC/DGÉ)	187
	Division de génie mécanique (CNRC/DGM)	190
	Hydro-Ontario - Division de la recherche	192
	Ontario Robotics Centre (ORC)	194
	Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ)	196
4.2	Secteur industriel	198
	Robotic Systems International	199
	Horizon Robotics Systems (Canada) Inc.	201
	Bata Engineering	202
	Clay-Mill Technical Systems Inc.	203
	CRS Plus Ltd.	204
	Diffracto Ltd.	205
	Magna International Inc.	206
	Promatic International Ltd.	207
	Spar Aerospace Ltd.	
	Division des systèmes de télémanipulateurs	208
	Vadeko International Inc.	210
	Institut de soudage du Canada	212
	Westinghouse Canada Inc.	213
	Xenotech Systems Inc.	214
	Servo-Robot Inc.	215
	Institut de soudage du Canada - Centre québecois	217
5.	CONCLUSIONS ET COMMENTAIRES FINALS	219

Table des matières (suite)

	Page
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	220
ANNEXE A - QUESTIONNAIRE	221
ANNEXE B - CENTRES CONSULTÉS	235
Universités (Centres R & D)	237
Centres de formation	247
Centres gouvernementaux et industriels	249

RÉSUMÉ

Le présent document est un guide et un index de la recherche et du développement en robotique au Canada. Il a été commandé et financé par le Conseil national de recherches du Canada et produit à contrat par le personnel du Laboratoire de robotique et d'automatisation du Département de génie mécanique de l'Université de Toronto (maître d'oeuvre) et par l'Ontario Robotics Centre de Peterborough en Ontario (sous-traitant).

On a invité des universités, des collèges et des organismes privés et publics à fournir (sur un questionnaire) des données sur leurs travaux de recherche et de développement passés, présents et futurs en robotique. Des membres de l'équipe chargée de l'étude se sont même rendus dans certains centres. Les données recueillies ont été traitées en fonction de l'objet du guide et du format retenu pour la présentation des résultats. La plupart des renseignements reçus étaient complets et conformes aux spécifications de l'étude. Malheureusement, certains centres n'ont pas transmis l'information dans le format convenu et d'autres n'ont pas répondu du tout.

L'équipe a été impressionnée par le volume et par la qualité du travail fait au Canada. Plus important encore est le potentiel énorme, de niveau international, de certains centres.

L'importance de ce secteur de recherche justifie un financement substantiel, financement dont le niveau actuel réflète le manque d'intérêt national. D'autres centres qui participent au Forum mixte de coordination de la coopération internationale en robotique d'avant-garde donnent à ce secteur un appui plus efficace et substantiel. En outre, les quelques domaines où les succès de l'industrie et du monde universitaire canadiens ont été reconnus à l'échelle mondiale doivent recevoir un appui particulier. Au Canada, les efforts de recherche et de développement en robotique doivent porter sur la reconnaissance internationale, ce qui est impossible sans une aide adéquate.

1. INTRODUCTION

1.1 Sensibilisation de l'opinion nationale et internationale aux travaux de recherche et de développement en robotique au Canada

L'augmentation des activités de robotique et d'automatisation, résultat d'incitations économiques et sociales dans les industries manufacturières et dans les industries de services, explique en grande partie la formation récente au Canada de nombreux centres de recherche et de développement. Malgré le volume et la qualité des recherches menées dans la majorité de ces centres, il était difficile de savoir exactement ce qui s'y faisait.

Pour sensibiliser davantage le milieu de la recherche aux réalisations en robotique à l'échelle nationale et l'opinion internationale aux réalisations canadiennes, un guide de la recherche et du développement en robotique au pays était nécessaire. Ce guide sera certainement une source de référence utile aux chercheurs du Canada et du monde entier désireux de coordonner leurs travaux de recherche et doit aider ces derniers à délimiter leurs secteurs de recherche futurs. Au milieu international, ce guide canadien de la recherche et du développement en robotique va définir l'orientation et l'étendue de la recherche dans ce domaine au pays et illustrer les moyens évolués dont nous disposons.

1.2 Production d'un guide index de la recherche et du développement en robotique au Canada

Ce guide index a été commandé par le Conseil national de recherches du Canada. Un contrat a été accordé à l'Université de Toronto - Laboratoire de robotique et d'automatisation du Département de génie mécanique (maître d'oeuvre) - pour préparer ce guide index en collaboration avec l'Ontario Robotics Centre (sous-traitant).

1.2.1 Objectifs

Les objectifs du guide index sont les suivants :

i) Sensibiliser les chercheurs canadiens aux travaux de recherche et de développement en robotique au Canada.

Le rapport aidera les chercheurs des universités, des laboratoires gouvernementaux, de l'industrie et d'ailleurs à planifier leurs travaux en cours et à mettre à profit les recherches de leurs homologues. Il servira aussi de guide et d'outil de référence aux gestionnaires et aux spécialistes de l'industrie qui veulent savoir où se font les travaux de recherche et de développement au Canada et évaluer la nature et l'importance des travaux entrepris.

ii) Sensibiliser les milieux de recherche internationaux aux activités canadiennes de recherche et de développement en robotique.

Le Canada est au nombre des pays qui participent au Forum mixte de coordination de la coopération internationale en robotique d'avant-garde.

Le but premier de ce forum est de faciliter, par la coopération internationale, la conception d'applications robotiques évoluées pour que les gens n'aient plus à travailler dans des conditions difficiles ou dangereuses et pour accroître le niveau d'automatisation des processus industriels. En conséquence, le guide de la recherche et du développement en robotique au Canada sera utile pour informer les représentants et les chercheurs d'autres pays participants de l'intérêt et du potentiel qui existent au Canada et pour prévoir, au besoin, la participation de ce dernier à des projets conjoints actuellement au stade de la planification.

1.2.2 Méthodologie

La responsabilité de la préparation du guide index a été confiée conjointement à l'Université de Toronto - Laboratoire de robotique et d'automatisation du Département de génie mécanique (UTME-RAL) et à l'Ontario Robotics Centre (ORC). Le laboratoire UTME-RAL devait contacter et couvrir les centres de recherche et de développement en robotique dans les universités et collèges canadiens et l'ORC, les centres des secteurs public et privé.

L'étude menée auprès des universités et des collèges canadiens s'est déroulée comme suit. Un premier contact a été établi par téléphone avec les représentants des centres de recherche désignés sur la liste de 1 à 5. On a ensuite communiqué avec des chercheurs connus des membres de la faculté de l'Université de Toronto chargés de la production du guide index (section 1.2.3). Pour être sûr de n'oublier aucune université, on a consulté le Commonwealth Universities Handbook (6). Cet ouvrage contient le nom de tous les chefs de département de génie mécanique, de génie électrique et d'informatique des universités canadiennes qu'on a ensuite contactés pour obtenir le nom de leurs chercheurs en bureautique. Dans d'autres cas, on a pris les noms de chercheurs canadiens dans des périodiques et des livres traitant de recherche en robotique.

On s'est aussi servi d'une liste de contacts dans les secteurs privé et public, fournie par le CNRC, et de noms connus de l'équipe de recherche du guide index de l'ORC (section 1.2.3).

Dans chaque cas, lorsqu'on jugeait les travaux de recherche et de développement utiles, on faisait parvenir à la personne intéressée un jeu de questionnaires (voir annexe A). Dans le but de rejoindre le plus grand nombre de chercheurs possible, on envoyait deux questionnaires au chercheur avec une note l'invitant à en remplir un et à remettre l'autre à un collègue d'un autre département ou service. En tout, le laboratoire RAL et le centre ORC ont adressé respectivement 54 jeux de questionnaires à 32 universités et collèges et 31 aux intéressés des secteurs public et privé (voir annexe B).

Après cette opération, on a procédé à un vaste suivi téléphonique dont la première étape consistait à s'assurer que les destinataires avaient reçu les questionnaires et à leur demander d'y répondre dans les plus brefs délais, la deuxième, à commenter, s'il y a lieu, les réponses obtenues et la troisième, à

relancer les retardataires. Grâce à ce suivi, 71 de 85 questionnaires distribués ont été renvoyés remplis (48 des établissements d'enseignement et 23 des secteurs privé et public).

Plusieurs des questionnaires reçus étaient complets, instructifs et bien présentés, mais beaucoup n'avaient pas les renseignements nécessaires pour figurer dans le guide. Ce manque de renseignements peut être attribuable soit à un ralentissement des activités au moment de l'étude ou à un manque de temps pour bien répondre au questionnaire. De toute façon, l'information sur la recherche et le développement en robotique contenue ici est aussi précise et complète que l'ont permis les renseignements contenus dans les questionnaires et recueillis lors des visites sur place et des interviews téléphoniques.

Les centres qui sont réputés pour leur recherche et pour leur développement en robotique ou dont l'importance des travaux ressortait de leur questionnaire ont reçu la visite des membres de l'équipe de recherche du guide. À notre avis, la visite des centres était encore la méthode la plus rentable et la plus efficace qui soit pour obtenir les données nécessaires. En général, la visite d'un centre permet d'en apprendre beaucoup plus sur ses chercheurs, l'état de ses travaux et les moyens dont il dispose, qu'un questionnaire ou une interview téléphonique. Certes, il était impossible ou inutile de visiter tous les centres, mais beaucoup l'ont été. La visite des centres universitaires a été confiée aux membres de la faculté de l'Université de Toronto et celle des centres gouvernementaux et industriels à ceux de l'équipe de recherche du centre ORC (section 1.2.3). Voici la liste des centres visités par région géographique :

Centres de recherche et de développement en robotique visités

Universités

1)	Université de Colombie-Britannique	Département de génie mécanique, département de génie électrique et département d'informatique
2)	Université du Manitoba	Département de génie mécanique et industriel (Laboratoire d'automatisation et de simulation industrielles) et département de génie électrique
3)	Université de Waterloo	Département des techniques de conception des systèmes (Groupe de l'analyse des formes et de l'intelligence artificielle (Groupe PAMI))
4)	Université McMaster	Département de génie mécanique, département de génie électrique (Centre de

		recherche et de développement sur la production flexible)
5)	Université Carleton	Département de génie mécanique et aéronautique (Centre d'études avancées en conception assistée par ordinateur (CASCADE), Laboratoire de robotique et de systèmes de commande (RCSL))
6)	Université Concordia	Département de génie mécanique (Centre de commande de processus industriels)
7)	Université McGill	Département de génie électrique (Laboratoire de vision artificielle et de robotique (CVaRL))
8)	Université de Toronto	Département de génie mécanique (Laboratoire de robotique et d'automatisation (RAL)), département de génie électrique, département d'informatique et département de génie industriel
9)	Université du Nouveau-Brunswick	Département de génie mécanique, département de génie électrique et département d'informatique

Secteurs privé et public

1)	Bata Engineering	
2)	Clay-Mill Technical Systems Ltd.	
3)	Conseil national de recherches	Établissement aéronautique national (EAN/CNRC)
4)	Conseil national de recherches	Division de génie électrique (DGE/CNRC)
5)	Conseil national de recherches	Division de génie mécanique, Laboratoire des systèmes (DGM/CNRC)
6)	Ontario Robotics Centre	
7)	Promatic International Ltd.	

8) Spar Aerospace Ltd. — Remote Manipulator Systems Division (RMSD)

9) Vadeko International Inc.

10) Institut de soudage du Canada

11) Westinghouse Canada Inc.

12) Xenotech Systems Inc.

1.2.3 Équipe de recherche du guide index

L'équipe de recherche était composée des membres suivants :

	Nom	Titre
Conseil national de recherches du Canada		
	J. Scrimgeour	Conseiller principal - CFAO, Robotique et automatisation industrielle, Institut de technologie en production industrielle
	B. Pade	Agent - Soutien des projets de recherche
Laboratoire de robotique et d'automatisation (Université de Toronto, Département de génie mécanique)		
Corps	A.A. Goldenberg	• Professeur agrégé - Génie enseignant mécanique et électrique • Chef - Laboratoire de robotique et d'automatisation • Enquêteur en chef
	R.G. Fenton	Professeur - Génie mécanique
	K.C. Smith	Professeur - Génie électrique
	J.K. Tsotsos	Professeur adjoint - Informatique
Personnel	R.A.D. Wallace	Ingénieur en recherche - Laboratoire de robotique et d'automatisation
	B. Benhabib	Étudiant - Génie mécanique - 3^{e} cycle

Ontario Robotics Centre

I.A. Barrie	- Vice-président directeur général - Enquêteur en chef
M. Lowe	Chef - Services techniques
M. Patrick	Chef - Services des applications
J. Hanright	Ingénieur d'application
B. Picard	Ingénieur d'application

1.3 Comment utiliser le guide

Le guide index de la recherche et du développement en robotique au Canada comporte cinq chapitres, une bibliographie et des annexes. Le chapitre 1, l'introduction, expose la nécessité du guide et explique comment on s'y est pris pour obtenir et présenter les données. Le chapitre 2 définit la recherche et le développement en robotique, expose les sujets traités et décrit l'état des travaux de recherche et de développement entrepris au Canada.

Le chapitre 3 présente des données sur la recherche et sur le développement dans les établissements d'enseignement. Ces données sont le résultat de l'interprétation ou de la transposition des renseignements consignés dans les questionnaires. Les établissements étudiés se divisent en deux groupes. Le groupe 1 (section 3.1) comprend les universités et les centres qui font des travaux de recherche et de développement directement applicables à la robotique. Leurs travaux portent sur des domaines tels que la commande des robots, la cinématique, la dynamique, les téléopérateurs, les capteurs, les systèmes de robot vision et la locomotion, qui sont ordinairement traités par les départements de génie électrique, mécanique et industriel.

De plus, le groupe 1 comprend les établissements qui font des travaux de recherche associés à la robotique et considérés, aux fins de l'étude, comme des travaux avec des possibilités d'applications robotiques évidentes et manifestement indispensables à la robotique du futur, mais sans rapport direct avec la robotique actuelle. Ces recherches connexes sont essentiellement menées dans le cadre de l'informatique et portent sur la vision artificielle (c.-à-d. les algorithmes d'analyse d'image et la simulation de la vision biologique), l'intelligence artificielle (IA) et l'informatisation.

Étant donné qu'il est difficile, voire injuste, de classer les centres en fonction des travaux de recherche dont ils font état sur leurs questionnaires (même si la visite d'un certain nombre de centres permet de les classer), on les a simplement mis par ordre géographique.

Le groupe 2 (section 3.2) est composé de centres de formation en robotique, c'est-à-dire de collèges ontariens qui donnent des cours de robotique (la robotique est aussi enseignée dans les universités). Bien que les collèges ne

fassent pas de recherche en robotique, ils possèdent de très bonnes installations robotiques qu'ils pourraient mettre à la disposition de l'industrie et des universités à des fins de recherche dans l'éventualité d'une collaboration avec ces derniers.

Les données des centres de recherche universitaires sont présentées au chapitre 3 selon le modèle suivant (Figure 1) (voir annexe A - questionnaire).

Les données des secteurs privé et public recueillies par l'Ontario Robotics Centre sont présentées séparément au chapitre 4. Le secteur public regroupe les laboratoires de recherche associés aux ministères fédéraux et les centres ou organismes créés par les gouvernements provinciaux.

Le chapitre 5 contient les conclusions de l'étude.

Pour l'utilisateur désireux d'avoir des données spécifiques sur les centres énumérés aux chapitres 3 et 4, on a inclus trois tableaux; le tableau 1 se rapporte au chapitre 3 et les tableaux 2 et 3, au chapitre 4.

NOM DE L'ÉTABLISSEMENT

Département

Nom du laboratoire

Adresse

Nom du contact
N° de téléphone du contact

I) Données sur le centre

historique et croissance du centre
installations
affiliation(s)
source(s) et montant du financement
honoraires pour les services externes
clientèle
plans d'expansion

II) Données sur le personnel

noms, titres et spécialisations des employés visés par l'étude

III) Travaux de recherche

secteurs de recherche
principaux objectifs
domaines de spécialisation
principales réalisations
logiciels mis au point ou utilisés

IV) Bibliographie

articles, rapports et autres documents produits et publiés

(Lorsque le volume des données d'un centre à entrer le justifie, on peut utiliser des sous-rubriques pour rendre la présentation plus claire.)

Figure 1

Tableau I Recherche et développement dans les universités

PROVINCE:	Colombie - Britannique					Alberta			Saskatchewan	Manitoba
UNIVERSITÉ:	Colombie - Britannique			Simon Fraser		Alberta		Calgary	Saskatchewan	Manitoba
DÉPARTEMENT:	Génie méc.	Génie élec.	Inform.	Génie	Inform.	Génie méc.	Psych.	Inform.	Génie / Inform.	Génie méc. / ind.
PAGE NUMÉRO	36	38	40	54	55	56	57	58	60	62
SECTEURS DE R&D:										
Intelligence artificielle			X		X		X			
Vision artificielle			X		X		X	X	X	X
Préhension et locomotion	X	X		X		X	X		X	X
Communication	X	X						X		X
Capteurs										
Actionneurs										
Matériels										
Productivité et applications industrielles	X								X	X

Tableau I Recherche et développement dans les universités (suite)

PROVINCE:	Ontario										
UNIVERSITÉ:	Carleton			McMaster	Queen's	Toronto				Waterloo	Western
DÉPARTEMENT:	Génie méc.	Inform.	CASCADE	Génie	QURL	Génie méc.	Génie élec.	Génie ind.	Inform.	Tech. - conception des systèmes	Génie
PAGE NUMÉRO	66	68	69	72	75	81	100	103	105	117	122
SECTEURS DE R&D:											
Intelligence artificielle		X			X				X	X	
Vision artificielle				X	X		X	X	X	X	
Préhension et locomotion	X		X	X	X	X	X			X	
Communication	X		X	X	X	X	X·		X	X	X
Capteurs					X	X					
Actionneurs											
Matériels											
Productivité et applications industrielles				X		X	X	X		X	

Tableau I Recherche et développement dans les universités (suite)

PROVINCE:	Québec									
UNIVERSITÉ:	Concordia	École Polytechnique		McGill		Montréal	Québec à Trois-Rivières	Sherbrooke	Tech. Sup.	
DÉPARTEMENT:	Génie méc.	Génie méc.	Génie élec.	Génie méc.	Génie élec.	I.R.O.	Génie	Génie méc.	Génie	Prod. auto.
PAGE NUMÉRO	123	129	130	132	139	162	164	166	168	169
SECTEURS DE R&D:										
Intelligence artificielle					X					X
Vision artificielle					X	X				
Préhension et locomotion	X	X	X	X	X	X		X		
Communication	X		X		X				X	
Capteurs								X		
Actionneurs				X						
Matériels										
Productivité et applications industrielles					X		X			

Tableau I Recherche et développement dans les universités (suite)

PROVINCE:	Nouveau-Brunswick	Nouvelle-Écosse	
UNIVERSITÉ:	Nouveau-Brunswick	Université tech.	
DÉPARTEMENT:	Génie	Génie méc	Génie ind.
PAGE NUMÉRO	170	173	174
SECTEURS DE R&D:			
Intelligence artificielle			
Vision artificielle			
Préhension et locomotion	X	X	
Communication			
Capteurs			
Actionneurs			
Matériels			
Productivité et applications industrielles	X		X

Tableau 2 Recherche, développement et applications au gouvernement

PROVINCE:	Alberta	Ontario		
ORGANISME:	Alberta Research Council (ARC)	Lab. nucl. de Chalk River (EACL)	Centre can. de la techn. des min. et de l'énergie (CANMET) EMR	Étab. aéro. national (EAN) CNRC
PAGE NUMÉRO:	182	183	185	187
APPLICATION: Automobile				
Enseignement				
Fabrication	X			
Exploitation minière			X	
Espace				X
Soudure				
Milieux hostiles		X		X
SECT. de RECHERCHE et de DÉVELOP. Commande des robots				X
Interface homme - machine				
Capteurs et vision artificielle				X
Conc. de manipulateurs, pinces et d'articulations				X
Intelligence artificielle appliquée				
Architecture de syst.				
Conception d'applications	X	X	X	X

Tableau 2 Recherche, développement et applications au gouvernement (suite)

PROVINCE:	Ontario				Québec
ORGANISME:	Div. de génie élec. Conseil nat. de rech.	Div. de génie méc Conseil nat. de rech.	Hydro Ontario	Ont. Robotics Centre (ORC)	Centre de Rech. Ind. du Québec (CRIQ)
PAGE NUMÉRO:	187	190	192	194	196
APPLICATION:					
Automobile				X	
Enseignement				X	
Fabrication	X	X		X	X
Exploitation minière				X	
Espace	X				
Soudure			X	X	
Milieux hostiles			X	X	
SECT. de RECHERCHE et de DÉVELOP.					
Commande des robots	X	X	X		
Interface homme-machine	X	X		X	
Capteurs et vision artificielle	X	X	X		
Conc. de manipulateurs, pinces et d'articulations	X				
Intelligence artificielle appliquée	X				
Architecture de syst.	X		X		
Conception d'applications	X	X	X	X	X

Tableau 3 Recherche, développement et applications dans l'industrie

PROVINCE:	Colombie-Britannique	Saskatchewan	Ontario				
SOCIÉTÉ:	Robotic Syst. Int'l (RSI)	Horizon Robotics	Bata Eng'g	Clay-Mill Tech. Syst.	CRS Plus	Diffracto	Magna Int'l
PAGE NUMÉRO:	199	201	202	203	204	205	206
APPLICATION:							
Automobile				X		X	X
Fabrication	X	X	X	X	X	X	
Exploitation minière	X						
Espace							
Milieux sous-marins	X						
Soudure							
Enseignement	X	X					
Milieux hostiles	X						
SECT. de RECHERCHE et de DÉVELOP.							
Commande des robots	X				X		
Interface homme-machine	X	X					
Capteurs et vision artificielle	X					X	
Conc. de manipulateurs, de pinces & d'articulations		X					
Conc. de robots				X	X		
Locomotion	X						
Intelligence artificielle appliquée							
Architecture de syst.	X						
Conception d'applications	X	X	X	X	X	X	X

Tableau 3 Recherche, développement et applications dans l'industrie (suite)

PROVINCE	Ontario						Québec	
SOCIÉTÉ	Promatic Int'l	SPAR Aero (RMSD)	Vadeko Int'l	Inst de soudage du Canada	Westinghouse Canada	Xenotech Syst	Servo Robot	Inst. de Soudage
PAGE NUMÉRO	207	208	210	212	213	214	215	217
APPLICATION								
Automobile	X	X	X	X			X	
Fabrication		X	X	X	X		X	X
Exploitation minière			X	X				
Espace								
Milieux sous-marins								
Soudure				X			X	X
Enseignement					X			
Milieux hostiles		X	X					
SECT de RECHERCHE et de DÉVELOP								
Commande des robots		X	X	X			X	X
Interface homme - machine		X	X				X	
Capteurs et vision artificielle		X		X		X	X	X
Conc de manipulateurs, de pinces & d'articulations		X	X					
Conc de robots								
Locomotion								
Intelligence artificielle appliquée		X						
Architecture de syst			X					
Conception d'applications	X	X	X	X	X	X	X	X

2. RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT EN ROBOTIQUE

2.1 Recherche et développement en robotique : une définition

Les travaux de recherche et de développement en robotique regroupent de nombreuses disciplines aussi bien du génie que des sciences appliquées, notamment le génie électrique, le génie mécanique et l'informatique. Afin de ne retenir que les informations les plus intéressantes et de recourir à une méthode de classification systématique, il a été nécessaire de distinguer des domaines particuliers de recherche et de développement.

À cet égard, les références [7] à [10] constituent un guide utile de classification des travaux de recherche et de développement en robotique. Compte tenu de ces références et du consensus des parties intéressées (Conseil national de recherches et Université de Toronto [11]), nous avons dressé une liste des domaines que nous envisageons de traiter dans le présent rapport, liste qu'on a incluse dans le questionnaire (annexe A). Dans les pages suivantes, on donne un aperçu des domaines dans lesquels se font des travaux de recherche et de développement en robotique; on espère que cet aperçu pourra servir de première définition à cette discipline marquée par la diversité.

En avril 1980, un atelier, tenu sous les auspices du NSF et auquel ont participé de nombreux experts bien connus de la robotique, a permis de circonscrire les connaissances scientifiques d'avant-garde indispensables pour asseoir la robotique sur une base solide. Les résultats de cet atelier ont été publiés en [7]. Dans cet atelier, ce sont surtout les recherches fondamentales qui ont occupé la première place, plutôt que les recherches appliquées comme l'aurait sans doute souhaité l'industrie.

En [7], on définit ainsi un système de robotique : c'est un système qui, à partir des informations reçues, comprend son milieu en recourant à des modèles et à des plans de formulation et d'exécution, afin de pouvoir contrôler son fonctionnement. À partir des références [7] à [11], il a été possible de délimiter sept domaines bien particuliers de la recherche et du développement en robotique : i) l'intelligence artificielle, ii) la manipulation et la locomotion, iii) la communication, iv) les capteurs, v) les actionneurs, vi) les matériels, et vii) les applications industrielles. On donne ci-après une courte description de chacun de ces domaines.

i.a) L'intelligence artificielle

En robotique, on s'adresse à l'intelligence artificielle pour automatiser les tâches de programmation, ou celles qui ne peuvent être programmées, c'est-à-dire qui demandent l'intervention de l'intelligence. Ces questions font l'objet de beaucoup de travaux dans les principaux laboratoires de recherche du monde; toutefois, à ce jour, ces recherches n'ont donné lieu à presque aucun résultat d'ordre pratique.

Les aspects de l'intelligence qu'on devrait retrouver dans une machine dite intelligente sont :

- la connaissance d'un domaine et le sens commun, ainsi que la représentation;
- la faculté d'apprendre ou de s'adapter;
- l'induction, la résolution des problèmes et la planification;
- la faculté de chercher à obtenir des informations extéroceptives;
- l'aptitude à comprendre et à intégrer les informations extéroceptives;
- la capacité de communiquer au moyen d'un langage naturel;
- la faculté de guider le comportement par des perceptions;
- la locomotion.

On ferait preuve d'un optimisme irréaliste si on vous annonçait que la création de machines intelligentes maîtrisant tous ces aspects est pour bientôt. D'ailleurs, nous devons faire remarquer que la définition précédente n'est pas exhaustive et que chacun des aspects présentés renferme des aspects secondaires d'importance.

La résolution d'un problème par une machine intelligente peut être considérée comme un exercice de transformation de la représentation d'un problème, c'est-à-dire la conversion de l'énoncé du but du problème (comme "Assembler toutes les pièces qui forment ce gadget") en la succession exacte des déplacements du manipulateur qui effectue la tâche concernée. Ces décompositions d'un problème font appel aux tâches d'intelligence artificielle classiques, comme la résolution de problèmes et la planification, la représentation cognitive du domaine du problème et la résolution des conflits. Elles mettent en jeu l'interprétation d'une information visuelle et la faculté de réagir aux "situations inattendues" révélées par l'information visuelle. Une solution possible doit donc être convertie en ordres aux manipulateurs par l'intermédiaire des rapports cinématiques. La commande est un élément critique à tous les niveaux de ces actions.

Observez que, pour de nombreuses raisons, il n'est pas nécessaire, pas plus que souhaitable, que chacune de ces actions soit définie au moyen du même formalisme, par exemple le formalisme mathématique. Il importe d'imaginer et d'utiliser le formalisme le plus approprié.

i.b) La vidéo-informatique et l'intelligence artificielle

Le domaine de l'intelligence artificielle englobe tous les aspects des machines intelligentes déjà définies brièvement. Toutefois, un sous-domaine de l'intelligence artificielle qui touche directement la robotique est celui de la compréhension des informations extéroceptives, particulièrement les données de la vidéo informatique.

Les travaux de recherche et de développement en vidéo-informatique gravitent autour de la façon de concevoir et de mettre en oeuvre des machines qui pourront résoudre les problèmes d'analyse d'informations visuelles. Le gros des recherches en vidéo-informatique a porté surtout sur l'interprétation de données d'entrée passives. Il ne fait pas de doute que des éléments actifs comme des télémètres au laser, de l'éclairage par des bandes lumineuses, des capteurs ultrasonores et d'autres types de capteurs seront extrêmement utiles

pour les robots dans des situations particulières. Cependant, l'analyse de ce type d'information visuelle n'est généralement pas prise en considération par les recherches en vidéo-informatique.

Ces dernières peuvent être divisées grossièrement en deux domaines d'activités importantes. Cette division, quoique pas tout à fait exacte, est utile. Le premier domaine est ce qu'on appelle assez librement la vision évoluée, appelée parfois vision attentive ou niveau de vision cognitive. Les chercheurs dans ce domaine essaient surtout de savoir comment agencer les informations visuelles pour obtenir des descriptions de scènes, et cela en marquant les objets, en induisant des relations spatiales entre ces objets et en rapprochant ce qui est vu de ce qui est connu pour un domaine du problème. Le deuxième groupe d'activités importantes est la vision élémentaire ou la vision précoce. Dans ce dernier cas, les chercheurs s'attachent surtout à savoir comment extraire les éléments significatifs des informations visuelles d'une image ou d'une suite d'images, afin que ces éléments puissent être utilisés par la composante "vision évoluée". Ces indices de vision significative peuvent être la couleur, la profondeur dévoilée par la stéréoscopie, le mouvement, les discontinuités d'intensité, la texture, le facteur de réflexion...

Bien entendu cette dichotomie, bien que commode, n'est pas le reflet exact de la réalité des systèmes de vidéo-informatique. En réalité, un filet de relations et d'échanges se tisse entre le traitement élémentaire et le traitement évolué des informations visuelles. De manière générale, on peut dire qu'actuellement on traite ces deux niveaux ainsi : dans les domaines d'applications où les contraintes sont très rigoureuses, les techniques de la vision élémentaire réussissent assez bien à extraire les informations; un simple appariement peut alors se substituer à la vision évoluée. Que ce soit dans le domaine de la vision élémentaire ou dans celui de la vision évoluée, il y a encore d'importants enjeux de recherche à considérer, et le Canada est très actif dans ces deux domaines.

ii) Manipulation et locomotion

Un système qui transmet des efforts de manière déterminée à l'avance afin d'atteindre certains objectifs est appelé une machine. Au contraire, un système dont la principale fonction est de transmettre un mouvement est un mécanisme. Un robot est donc un mécanisme à boucle ouverte (manipulateur). La cinématique est l'étude du mouvement dans les mécanismes (elle analyse les déplacements, les vitesses et les accélérations et fait la synthèse des mécanismes pour produire les types de mouvements précisés). Par ailleurs, la dynamique est l'étude des forces et des moments des systèmes qui évoluent dans le temps (elle analyse les effets d'inertie).

La conception cinématique implique le choix des paramètres structuraux qui raccordent les articulations adjacentes et la pince du robot. Les méthodes de commande basées sur la cinématique (directe et inverse) sont nécessaires à la coordination du mouvement du robot pour assurer l'interdépendance fonctionnelle entre le manipulateur, la pince et le volume de travail

(milieu). La cinématique des robots est également étudiée du point de vue de la planification de la trajectoire optimale et de la prévention des collisions.

Les robots cinématiquement redondants constituent un autre sujet d'importance pour la prévention des collisions et la gestion des singularités. On y traite de la géométrie des systèmes à multibras et de la détermination du nombre des degrés de liberté (d.d.l.) et de la façon de les répartir.

Un autre domaine auquel s'intéresse la recherche est la manipulation rapide qui exige des robots légers et flexibles. D'importantes recherches seront nécessaires pour la modélisation dynamique des systèmes flexibles et la résolution efficace des équations du mouvement. Les travaux effectués en vue de comprendre la dépendance fonctionnelle entre la performance d'un robot et les paramètres structuraux sont également importants. Par évaluation de la performance on entend la précision, la répétabilité et la fiabilité des robots.

Avec la fonction de commande il s'établit une distinction entre la robotique et l'intelligence artificielle pure [8]. On effectue présentement des travaux pertinents sur la combinaison des approches théoriques et de système avec les méthodologies d'avant-garde. La généralisation de notions comme la reconnaissance des formes, l'analyse des images, la prise de décision, l'apprentissage et les propriétés des systèmes (démonstration de théorème) s'impose pour les robots autonomes. La théorie moderne de la commande est applicable à des domaines comme la commande non linéaire, la commande adaptative, la commande robuste, le calcul et la commande répartis. Des travaux sont également nécessaires en théorie de la commande hiérarchique des systèmes répartis.

Pour ce qui concerne la commande en temps réel, les domaines où il se fait le plus de recherches sont l'intégration des capteurs à contact et sans contact et l'interface homme-machine.

Il est également nécessaire de formuler une interprétation et de passer des observations aux modèles objets en prenant en considération les prévisions et les descriptions. On appele prévisions le passage des modèles aux observations, et descriptions le passage des observations aux modèles.

D'autres développements dignes de mention sont : la commande de robot à liaison flexible, la conception et la commande de pinces multidigitales munies de capteurs (particulièrement tactiles) et les robots mobiles nécessaires aux opérations de téléopération et d'autonomie.

La locomotion (mobilité) des systèmes peut être catégorisée d'après sa cinématique, son moyen de propulsion et son milieu de fonctionnement. Il faudra que des recherches viennent préciser dans quelles conditions ce sont des roues, des jambes, des boucles, des voies, des ballons ou des vérins qui représentent le meilleur choix. La création d'un nouveau niveau de commande pour la surveillance devrait aider à diviser de façon optimale les tâches entre l'opérateur et la machine qu'il fait fonctionner à distance. Un domaine de recherche connexe est la planification automatique pour la navigation des

robots mobiles. D'autres enjeux importants sont le perfectionnement de l'efficacité des actionneurs et la réduction de leur poids. Autre domaine à investiguer : la stabilité statique et dynamique dans un cycle de locomotion.

iii) Communication

Généralement la communication homme-machine se fait en spécifiant les positions du bras et en créant les programmes qui conduisent la suite de tâches. L'incessante augmentation du nombre d'instructions dans ces programmes, nécessaire pour prendre en considération les limites imposées, rend indispensable la poursuite de recherches pour élaborer des méthodes de vérification automatique des activités du robot et de mise en oeuvre des correctifs à apporter. Les recherches actuelles s'intéressent à l'élaboration de langages évolués qui intègrent les systèmes de modélisation géométrique et de grosses bases de données. Des travaux connexes ont également lieu sur l'élaboration de méthodes facilitant l'adaptation homme-machine et la mise au point de programmes de robotique sophistiqués.

La programmation d'un robot tire beaucoup profit de l'utilisation de bases de données techniques unifiées regroupant les propriétés physiques et volumétriques des objets. La simulation en mode non connecté des mouvements d'un robot confirme les trajectoires exemptes de collision et réduit, dans des proportions considérables, le temps consacré à l'apprentissage en mode connecté du robot au moyen de télécommandes. De nouvelles recherches seront nécessaires pour simuler les phénomènes de contact à partir d'informations extéroceptives et pour adapter des objets dans la base de données du modèle en vue de compenser la variabilité.

La coordination de robots complexes profitera assurément d'une meilleure compréhension des structures hiérarchiques modulaires. Les propriétés d'adaptation et d'apprentissage devront être exploitées. L'utilisation d'un système de commande d'articulation par microprocesseur est une décision qui va presque de soi. Les recherches portant sur le traitement réparti et les structures de bus parallèles s'imposent si on veut élaborer des robots de pointe. Par ailleurs, il se fait des recherches sur les contrôleurs conduits par un programme en vue de remplacer les contrôleurs conduits par du matériel. Des recherches connexes sont menées sur l'adaptation en temps réel de capteurs, la détection d'erreurs, la vérification de la cohérence, les programmes d'analyse de défaillance et sur des programmes périphériques au travail servant à la détection rapide des pannes, à l'isolation des pannes et au fonctionnement de secours. D'autres recherches gravitent également autour de l'élaboration de systèmes de robotique à sécurité intégrale et à protection opérationnelle.

iv) Capteurs

Un capteur est un transducteur qui mesure une variable nécessaire aux activités de commande. Les types de capteurs que l'on retrouve aujourd'hui dans les robots industriels sont : les capteurs à contact comme les capteurs d'efforts et les capteurs tactiles, et les capteurs sans contact comme les

capteurs de vision et de proximité. La robotvision peut être imaginée comme un processus formé de quatre étapes interactives : 1) l'accentuation qui produit une image précise; 2) la segmentation qui décompose une image; 3) l'extraction des caractères qui fournit des informations sur la taille et la forme; et 4) l'appariement avec un modèle qui conduit à la prise d'une décision au sujet d'objets.

Les capteurs à contact sont employés dans les opérations où il faut maintenir un contact direct, faire de la surveillance ou du guidage; ils servent même à confirmer les données recueillies par les capteurs sans contact. Actuellement, il est nécessaire d'améliorer la performance des capteurs de vision actuels, en améliorant leur résolution et la qualité des pixels, et en les dotant de meilleures lentilles et de techniques de mise au point rapide. De nouveau travaux s'imposent sur les capteurs de proximité et sur le problème correspondant de la vision stéréoscopique.

Les réseaux actuels de capteurs tactiles et d'efforts sont affectés d'une résolution grossière, d'une certaine lenteur et d'un nombre excessif de fils de communication et de commande. Dans certains travaux, on s'évertue à élaborer des réseaux de grande résolution, compliants, bidimensionnels et à les intégrer à des microprocesseurs locaux. Concurremment à l'élaboration d'autres capteurs, de nouveaux dispositifs comme des capteurs acoustiques et thermiques suscitent l'intérêt.

Il faudra aussi se pencher sur le problème d'une utilisation plus efficace des données décelées en cherchant un ensemble de primitives de langage qui servent à la saisie d'informations extéroceptives et qui déterminent l'action qui s'impose. Les difficultés inhérentes aux données "parasitées" pourront être traitées au moyen de filtres de Kalman et de techniques statistiques de reconnaissance de formes. Le rôle des modèles dans la création de nouveaux algorithmes de traitement a besoin d'être précisé.

Il y aura lieu également d'améliorer la vitesse de traitement des données en recourant à du matériel à vocation spéciale et à des algorithmes logiciels efficaces. Pour atteindre des fonctionnements rapides, il sera bon aussi d'examiner l'adaptation parallèle et les systèmes multiordinateurs. L'amélioration de nos connaissances sur la précision et la fiabilité de la portée s'impose également.

v) Actionneurs

Un actionneur est un moteur qui convertit une forme d'énergie en énergie mécanique. En robotique, l'action qui en résulte est le déplacement mécanique qui fournit la puissance nécessaire au déplacement de chaque axe de l'articulation. Les entraînements des actionneurs de robots sont soit électriques, pneumatiques, hydrauliques ou mixtes.

Les actionneurs électriques (moteurs d'asservissement, moteurs pas à pas, solénoïdes linéaires, solénoïdes de rotation), sont rapides, précis et s'imposent d'eux-mêmes dans les techniques de commande sophistiquées. Toutefois, les trains d'engrenage nécessaires à la transmission de la puissance

limitent la précision à cause du jeu des pignons. Des recherches sont donc nécessaires dans des domaines comme la fluctuation des moments, la rigidité mécanique, le jeu et l'usure des pignons, problèmes très répandus dans les entraînements électromécaniques.

Le mécanisme d'entraînement le plus populaire pour les grosses charges est le mécanisme hydraulique. Un actionneur hydraulique exploite la poussée d'un fluide hydraulique sous haute pression pour créer le déplacement d'un arbre. Ces actionneurs permettent d'obtenir une commande précise, sont sûrs et ont beaucoup d'endurance dans les milieux hostiles. Toutefois, ils tendent à contaminer le poste de travail et conviennent assez mal aux applications rapides. En revanche, les robots pneumatiques fonctionnent rapidement mais sont limités aux petites charges. Les actionneurs pneumatiques ne sont pas précis à cause de la compressibilité de l'air; d'ailleurs, dans leur cas, les fuites d'air sont un problème majeur. La prévention des fuites d'air et de fluide passe donc par l'élaboration de raccords innovateurs qui offrent une bonne tenue aux vibrations, aux dilatations et aux contractions.

La notion de bras à entraînement direct, qui fait actuellement l'objet d'investigations, exclut tout genre de convertisseur de couple, ce qui devrait se traduire par une augmentation considérable de la rigidité, de la précision et de la vitesse des articulations. Les futures études en conception d'actionneurs d'articulations devraient tenir compte de facteurs comme couple élevé, légèreté et moteurs peu encombrants.

La performance de chaque actionneur est un facteur important qui conditionne, en dernier ressort, la performance mécanique des pinces multidigitales précises. D'où la priorité accordée à l'étude de la performance mécanique des actionneurs dans les recherches à venir sur des pinces précises.

vi) Matériaux

Dans de nombreuses applications industrielles, la lenteur des gros robots entraîne une baisse de la productivité. Une solution pour pallier leur lourdeur est d'avoir des liaisons plus légères; toutefois, l'allègement peut entraîner une perte de rigidité et des flexions excessives de l'organe terminal.

Les matériaux composites à fibres combinent une légèreté et une rigidité suffisantes, quoiqu'ils soient sujets au fluage et au vieillissement. Les propriétés physiques des matériaux composites sont supérieures à celles des métaux et permettent de réaliser des robots rapides plus performants et plus durables. Ces matériaux pourront donc servir à résoudre certains problèmes inhérents aux opérations rapides, nommément la rigidité et les vibrations. Toutefois, le concepteur de liaisons en matériaux composites à fibres fait face à de sérieuses difficultés, dont le choix et la disposition des fibres, les calculs d'inertie et la fabrication réelle de la liaison. Des recherches de développement et de conception de liaisons optimales à partir d'une grande variété de matériaux devront se poursuivre.

vii) Applications industrielles

L'industrie se montre vivement intéressée par l'utilisation d'ateliers flexibles comprenant des robots. Les perfectionnements intervenus dans la conception assistée par ordinateur (CAO) et la fabrication assistée par ordinateur (FAO), de même que dans les ateliers flexibles, devraient éventuellement améliorer la productivité des industries.

De ce point de vue, les domaines de recherche qu'il importe de favoriser sont ceux qui permettront aux robots d'être autonomes. Dans les systèmes de fabrication modernes, on s'attend à ce que les robots effectuent des tâches comme la manipulation de matériaux, la fabrication, l'assemblage, le traçage, le pistage, les essais et l'inspection. Il s'agit là de tâches qui exigent un haut degré d'intelligence de la part des robots.

Le problème crucial de l'intelligence des robots industriels est que ces derniers sont placés en interface avec les systèmes d'information actuels (bases de données et capteurs) et doivent choisir parmi un grand nombre d'actions possibles. La tendance actuelle est de développer des usines automatisées comprenant des robots autonomes qui exigent un minimum de surveillance de la part des opérateurs.

2.2 La situation au Canada

2.2.1 Maisons d'enseignement

Le sommaire qui suit est le résultat d'une évaluation des publications et des travaux de recherche de diverses maisons d'enseignement. On n'y mentionne aucunement les principaux intérêts, les travaux de recherches planifiés et les travaux antérieurs toujours en cours. Il va de soi, et la plupart des questionnaires le signalent, que les travaux de recherche devraient prendre de l'ampleur. On pourra d'ailleurs s'en convaincre en se référant au chapitre 3 où sont décrites les activités de chaque centre. Ici, on ne signale que les travaux achevés ou sur le point de l'être.

Intelligence artificielle

Ce domaine, dans la mesure où il concerne le contexte plus large des machines intelligentes, fait l'objet de plusieurs recherches dans de nombreux centres. Le centre le plus important et celui qui en traite le plus d'aspects est situé au Département d'informatique de l'Université de Toronto. D'autres centres importants en intelligence artificielle sont ceux de : l'Université de la Colombie-Britannique (département d'informatique), l'Université Simon Fraser (département d'informatique), l'Université de Waterloo (génie des procédés) et l'Université McGill (département de génie électrique). Les chercheurs de Simon Fraser et de Waterloo sont relativement jeunes mais on peut fonder sur eux de grands espoirs pour l'avenir. On retrouve des groupes de chercheurs plus restreints à l'Université de l'Alberta (département de psychologie), à l'Université de la Saskatchewan (département d'informatique), à l'Université Western Ontario (faculté de génie), à l'Université Queen's

(informatique), à l'Université d'Ottawa, à l'Université Carleton (département d'informatique), à l'Université Concordia et à l'Université Dalhousie. Observez que les groupes mentionnés ici n'ont pas tous répondu au questionnaire.

Vidéo-informatique

Les autres aspects de l'intelligence artificielle, c'est-à-dire de la vidéo-informatique, font l'objet d'un grand nombre de travaux dans les universités canadiennes. Les centres les plus importants sont : le département d'informatique de l'Université de la Colombie-Britannique, le département de génie électrique de l'Université McGill et le département d'informatique de l'Université de Toronto. Les travaux en vidéo-informatique et en intelligence artificielle de ces trois groupes ont été reconnus au niveau international, et l'ensemble de leurs efforts constitue le programme d'intelligence artificielle et de robotique de l'Institut canadien des recherches supérieures. Dans chacune de ces universités, plus de vingt professeurs, étudiants de deuxième et troisième cycles et employés travaillent dans ce domaine. Un échantillonnage a retrouvé les groupes de taille moyenne (moins de dix personnes mais plus de trois) dans les départements d'informatique des universités suivantes : Université Simon Fraser, Université d'Ottawa, Université Carleton et Université Queen's. Par ailleurs, on retrouve des groupes de petite taille (trois chercheurs ou moins) dans les institutions suivantes : l'Université de l'Alberta (département de psychologie), l'Université de Calgary (informatique), l'Université Western Ontario (faculté de génie) et l'Université Dalhousie.

Un résultat surprenant de cette enquête a été de constater qu'aucun groupe de recherche en vidéo-informatique d'un département d'informatique n'était sur le point de devenir un important laboratoire de robotique. Toutefois on s'y applique à l'Université Queen's.

Manipulation et locomotion

Les recherches qui entrent dans cette catégorie concernent la cinématique, la dynamique, la commande et la conception des robots. Il existe à travers le Canada plusieurs centres qui se livrent à des recherches de cette nature depuis un certain nombre d'années (principalement le département de génie électrique, de génie mécanique et de génie industriel), et qui se sont lancés ou se préparent à se lancer dans de nouvelles avenues de recherche.

C'est l'Université de Toronto qui loge le plus grand centre de recherche dans son département de génie mécanique; ce centre s'appelle le Laboratoire de robotique et d'automatisation. Ce laboratoire dispose d'une importante équipe de recherche (deux professeurs, six ingénieurs, quinze étudiants de deuxième et de troisième cycles), d'appareils variés (plusieurs robots, des systèmes de vidéo-informatique, des postes de CAO, des ordinateurs...) et a déjà à son actif plusieurs publications et contrats avec l'industrie. Les recherches portent principalement sur la cinématique, la commande des efforts, la conception, la mobilité et les pinces articulées (mains multidigitales). Le département de génie électrique de la même université mène aussi des recherches sur la commande des bras flexibles, la cinématique et la dynamique.

On retrouve également un centre de recherche d'importance à l'université McGill, un centre qui regroupe des ressources du département de génie électrique (commande des efforts, identification, planification de trajectoires) et du département de génie mécanique (cinématique, optimisation de trajectoires, dynamique). Le nombre de personnes qui y travaillent est très élevé (plusieurs professeurs, des ingénieurs à temps plein et au moins quinze étudiants de deuxième et de troisième cycles). Comme appareillage, ils disposent de plusieurs robots, de systèmes de vidéo-informatique, d'ordinateurs. Au surplus, on doit porter à leur crédit de nombreuses publications dans des journaux de diffusion internationale.

L'Université de Toronto et l'Université McGill ont mis sur pied les plus gros centres canadiens en combinant les ressources de leurs départements de génie électrique et de génie mécanique. Le niveau de financement du centre de l'Université de Toronto est presque suffisant, alors que l'Université McGill, elle, reçoit la plus importante contribution financière. D'ailleurs, cette université devrait augmenter prochainement son rendement au niveau de la recherche.

Les départements de génie mécanique (commande dans le volume de travail) et de génie électrique (téléopérateurs et commande) de l'Université de la Colombie-Britannique augmentent sans cesse leur apport à ces recherches. On retrouve d'autres groupes de recherche dynamiques : au département de psychologie de l'Université de l'Alberta (reconnaissance des formes), à l'Université de la Saskatchewan (commande hydraulique, mobilité, bras myoélectrique), au département de génie mécanique et industriel de l'Université du Manitoba (cinématique), à l'École de génie de l'Université McMaster (commande, planification de projet), au département de génie électrique de l'Université Queen's (commande adaptative), au département de génie mécanique de l'Université Carleton (cinématique, commande), à la Faculté de génie des procédés de l'Université de Waterloo (commande, reconnaissance des formes), au département de génie mécanique de l'Université Concordia (télémanipulation, commande, mobilité), au département de génie mécanique de l'Université de Sherbrooke (conception, compliance) et à l'École de génie de l'Université du Nouveau-Brunswick (conception, commande par microprocesseur, commande numérique).

Par ailleurs, des groupes plus restreints (un professeur et quelques étudiants) ont été formés récemment à l'Université Simon Fraser (navigation de robots mobiles), au département de génie mécanique de l'Université de l'Alberta, au département de génie mécanique de l'École polytechnique (véhicules guidés et commande) et à l'Université de Montréal (planification de trajectoires, coordination de robots multiples).

Communication

Dans ce domaine les travaux portent sur la programmation (automatique, en mode non connecté), l'interface homme-machine, la commande en temps réel, la simulation (en temps réel et en différé) et le traitement d'images (commande, information extéroceptive).

Les plus grands centres de recherche dans ce domaine se trouvent : au département de génie électrique (traitement d'images, interface homme-machine, conception de circuits intégrés) et au département de génie mécanique (programmation automatique) de l'Université de la Colombie-Britannique, au département d'informatique de l'Université de Calgary (simulations commande en temps réel), au département d'informatique de l'Université de la Saskatchewan (simulation), au département de génie mécanique et industriel de l'Université de l'Alberta (simulation), à l'École de génie de l'Université McMaster (programmation en mode non connecté, commande en temps réel, simulation), au département de génie des procédés de l'Université de Waterloo (traitement d'images, au département de génie mécanique (simulation, commande en temps réel, capteur tactile) et au département de génie électrique (interface homme-machine, traitement d'images déterminées par des informations extéroceptives) de l'Université de Toronto, au département de génie mécanique de l'Université Carleton (simulation), aux départements de génie électrique et d'informatique de l'Université Queen's (traitement d'images, détection tactile) et aux départements de génie électrique (traitement d'images) et de génie mécanique (simulation et détection) de l'Université McGill.

Des groupes plus petits travaillent à la Faculté de génie de l'Université Western Ontario (interface de robot), au département de génie mécanique de l'Université Concordia (simulation) et au département de génie mécanique de l'Université du Québec (programmation en mode non connecté).

Capteurs

Dans ce domaine, les travaux portent sur l'élaboration des capteurs (conception, matériel et logiciel pour le traitement de données locales). Les principaux groupes de recherches sont logés au département de génie mécanique de l'Université de Toronto (détection tactile), au département d'informatique de l'Université Queen's (détection tactile) et au département de génie mécanique de l'Université de Sherbrooke (système flexible à centre déporté instrumenté).

Actionneurs

Les travaux de recherche dans ce domaine portent sur de nouveaux types de manipulation par actionneur pour la robotique (théorie, conception et expérimentation). Les seuls travaux relevés s'effectuent au département de génie mécanique de l'Université McGill.

Matériaux

Les travaux relatifs à ce domaine portent sur les structures légères, les robots modulaires et les nouveaux matériaux composites pour les structures de robot. Il n'y a au Canada actuellement aucun travail concernant ce domaine.

Productivité, fabrication automatique, applications

Les travaux de recherche dans ce domaine portent sur des aspects connexes à l'atelier flexible, à la CAO/FAO, à la simulation et à l'optimisation des

procédés et des applications. Les groupes de recherches existent : au département de génie mécanique de l'Université de la Colombie-Britannique (soudage et application à l'industrie forestière), au département d'informatique de l'Université de la Saskatchewan (extraction minière et applications agricoles), au département de génie mécanique et industriel de l'Université de l'Alberta (intégration de la fabrication automatisée, simulation de phénomènes discrets), au département de génie mécanique de l'Université McMaster (atelier flexible, soudage et inspection), au département de génie mécanique (assemblage durant la fabrication de composants électroniques, instrumentation automatique dans des applications nucléaires, CAO/FAO et intégration de postes de travail robotisés), au département de génie électrique (atelier flexible) et au département de génie industriel (atelier flexible) de l'Université de Toronto, au département de génie des procédés de l'Université Waterloo (réparation d'appareillage électronique, inspection), à l'Université du Québec à Trois-Rivières (sécurité, assemblage de plaquettes de circuits imprimés, outillage de robot), à l'École de génie de l'Université du Nouveau-Brunswick (CAO/FAO) et aux départements de génie industriel et de mécanique (atelier flexible, CAO/FAO) de l'Université technique de la Nouvelle-Écosse.

2.2.2 Secteur privé et gouvernements

Le secteur privé et les gouvernements effectuent beaucoup de travaux de recherche et de développement en robotique. Les ministères du gouvernement canadien exploitent des laboratoires de recherche comme le Laboratoire nucléaire de Chalk River d'Énergie atomique du Canada Limitée, le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie d'Énergie, Mines et Ressources Canada, l'Établissement aéronautique national, la Division de génie électrique, et la Division de génie mécanique du Conseil national de recherches du Canada. En outre, des gouvernements provinciaux ont mis en place des centres de recherche et de développement comme le Centre de recherche industriel du Québec, l'Ontario Robotics Centre de l'Ontario et l'Alberta Research Council de l'Alberta. Ces centres gouvernementaux ont tendance à financer la majeure partie des travaux de recherche et de développement à risque élevé et à long terme. En maintenant de tels laboratoires, les gouvernements ont comme objectif général de compléter les recherches faites dans l'industrie et d'effectuer des travaux qui autrement ne seraient pas effectués ailleurs; ce faisant, ils augmentent les innovations techniques qui appartiennent en propre au Canada.

Les industries privées consacrent surtout leurs efforts à des travaux à court terme ayant des applications immédiates ou à des travaux financés par les gouvernements ou les universités. Les industries ont deux objectifs : d'une part élaborer et améliorer des produits commercialisables comme l'outillage d'organes terminaux et de pinces spécialisées, et, d'autre part, concevoir des projets techniques d'avant-garde, à contrat, pour les universités, les gouvernements et le secteur privé.

Forcée de rattraper la concurrence étrangère en implantant de plus en plus d'ateliers flexibles, l'industrie a apporté une contribution sensible au

développement de la technologie de la robotique. Les installations qu'elle a construites pour la recherche et le développement en robotique comptent parmi les plus perfectionnées en Amérique du Nord. De nombreuses entreprises spécialisées en systèmes automatisés possèdent des installations sur place pour la conception, l'élaboration et la production de systèmes de robotique complets. De plus, le désir de coopération des secteurs privé, gouvernemental et universitaire à des projets de recherche et de développement entraîne le partage des appareillages et des sources d'information.

L'avènement de la robotique et son impact sur l'économie ont donné lieu à la mise sur pied de nombreuses firmes de consultation en robotique au cours des dernières années. Certaines sont des subsidiaires spécialisées de compagnies déjà existantes; la plupart des autres, présentées dans ce répertoire, sont des firmes de plus petite taille qui ont pu se lancer en affaires au cours des quatre dernières années grâce à une subvention du CNRC. En revanche, d'autres sociétés sont en exploitation depuis des décennies et la robotique n'est qu'un de leurs intérêts commerciaux.

La recherche et le développement en robotique au Canada s'appliquent aussi bien à des projets visant à l'élaboration d'un dispositif automatisé à vocation unique destiné à améliorer un procédé de fabrication existant, qu'à des programmes à long terme dont le but est d'automatiser complètement l'extraction minière souterraine dans de la roche dure. Les recherches qui se font actuellement portent sur des systèmes à commande adaptative utilisant la réaction mesurée par des capteurs, le soudage automatique et la téléopération de véhicules et d'appareillages de manutention. En dernier ressort, on veut trouver des applications pour l'agriculture, l'industrie de l'automobile, les milieux hostiles et la station spatiale de la NASA. Voici quelques-unes des principales réalisations :

- systèmes de pistage de cordons de soudure pour robots de soudage à l'arc;
- système de vision artificielle fondé sur des techniques de triangulation laser;
- série de composants modulaires exécutant des tâches automatiquement;
- inspection automatique au moyen d'un système de vidéo-informatique, de capteurs tactiles et d'un robot;
- caméra de proximité tridimensionnelle à balayage laser;
- systèmes d'exploitation commandés par multiprocesseur et liaisons de commande en temps réel;
- commande modale active de manipulateur flexible pour applications spatiales;
- robot en mesure de soulever des milliers de livres et ayant un axe tournant à cinq degrés de liberté;
- outillage de téléréparation pour milieux hostiles.

La situation des travaux de recherche et de développement pour divers domaines spécifiques de la robotique est donnée ci-après.

Commande de robots

Les endroits où se font des recherches en commande de robots sont : CRS Plus (commande de machines et appareils de mesure pour l'élaboration de petits robots), la Division de génie électrique (planification de tâches basée sur la connaissance et prévention des collisions), la Division de génie mécanique (cinématique et dynamique, commande de surveillance et commande intelligente), l'Établissement aéronautique national (robotique et système de commande) du CNRC, Robotics Systems International (architecture de commande de robots pour systèmes téléopérateurs mettant en jeu des robots commandés par la voix, robots asservis de grande puissance, géométries et cinématiques de manipulateur), Servo-Robot (commande adaptative pour des procédés de soudage), Spar (commande de mouvements résolubles, compliance active, planification de trajectoires, commande heuristique, commande de structure flexible, élaboration de langages de commande de robot) et Vadeko (commande hiérarchique et commande adaptative).

Interface homme-machine

De nombreuses compagnies comme Spar Aerospace explorent certains aspects de l'interface homme-machine dans leurs recherches en robotique, notamment la télémanipulation, la programmation en mode non connecté, la simulation graphique.

Par ailleurs, Horizon mène des recherches sur la simulation d'applications en temps réel. Pour sa part la Division de génie électrique du CNRC étudie l'infographie et l'interaction homme-machine, tandis que la Division de génie mécanique effectue de la recherche et du développement sur les systèmes de surveillance homme-machine et la programmation en mode non connecté des robots industriels.

Les travaux de RSI traitent de l'ergonomie de l'interface homme-machine et de systèmes de robots asservis à un utilisateur. Vadeko travaille à la programmation en mode non connecté et à la simulation graphique.

Capteurs et systèmes d'analyse d'images

Les chercheurs canadiens ont réussi des percées importantes dans le domaine de l'élaboration de capteurs, domaine crucial pour l'obtention de systèmes de robots adaptatifs. Les endroits où travaillent des chercheurs sont : Diffracto (vision intelligente comme méthode de guidage des robots et d'inspection optique des défauts et des dimensions de surfaces), Division de génie électrique et Établissement aéronautique national du CNRC (optoélectronique, vidéographie et reconnaissance de formes pour la commande de robots), Division de génie électrique du CNRC (commande intelligente de systèmes de robots et de capteurs), le Centre de recherche industrielle du Québec (vision intelligente et reconnaissance de formes pour des projets d'automatisation de nature générale intégrant des capteurs de robot), RSI ("téléprésence" réalisée au moyen d'une technologie de détection améliorée qui permet de voir et d'obtenir des signaux de réaction à la position, aux efforts et au couple), Servo-Robot (a

élaboré un système de vision artificielle fondé sur la triangulation laser), Spar (technologie de réaction à la vision exploitée dans les systèmes de télé-opération ou de commande de robot) et Xenotech (a élaboré un système de vision intelligent qui recourt à un système binaire et donne des images avec quatre niveaux de gris).

Conception de manipulateurs, de pinces et de poignées

Horizon et Vadeko sont deux des compagnies qui travaillent à l'élaboration d'une technologie de bras de robots; ces deux compagnies ont surtout à coeur d'imaginer et d'élaborer de l'outillage pour les organes terminaux. Plus particulièrement, Horizon élabore des techniques de télémanipulation et conçoit des pinces et des poignées, alors que Vadeko élabore des outillages d'organes terminaux et des pinces spécialisées commercialisables.

L'Établissement aéronautique national du CNRC travaille au bras canadien alors que la Division de génie mécanique s'attache à l'étude de la commande de surveillance de télémanipulateurs programmables. Mentionnons en outre que Spar comprend toute une division dont les seuls intérêts sont les systèmes de télémanipulation, son objectif éventuel étant d'intégrer la commande de manipulateurs et l'intelligence et la vision artificielles.

Conception de robots

Clay-Mill a réalisé un robot à cinq degrés de liberté ayant la faculté de lever de lourdes charges. La compagnie CRS Plus a comme objectif de mettre au point de petits systèmes de robots complexes.

Locomotion

RSI élabore et produit des télémanipulateurs et des systèmes de commande pour véhicules sous-marins.

L'intelligence artificielle appliquée à la robotique

Une des spécialités de la Division de génie électrique du CNRC est l'application de l'intelligence artificielle à la robotique. Spar se penche également sur cette tâche, mais vise plus particulièrement à élaborer des représentations cognitives de tâches de même qu'à utiliser l'intelligence et la vision artificielles pour la commande de manipulateurs.

Architecture de système

L'architecture de système fait l'objet de recherches à la Division de génie électrique CNRC (architectures de systèmes à multiprocesseur pour calcul en temps réel, particulièrement les architectures de calcul parallèle et le génie logiciel), chez RSI (langage de programmation évolué pour robot en mode connecté et mode non connecté) et chez Vadeko (logiciel de commande en temps réel et logiciel de système d'exploitation).

Élaboration d'applications

Les applications auxquelles sont destinés, en dernier ressort, les travaux de recherche et de développement en robotique au Canada intéressent la totalité des activités de l'industrie et des milieux de travail. Par exemple, la compagnie Horizons recherche surtout des applications agricoles alors que Spar cherche à percer les marchés de l'avenir avec les applications spatiales et terrestres de sa technologie. On donne ci-après quelques détails au sujet des principales catégories d'applications de la robotique.

Automobile

Clay-Mill imagine et construit de l'outillage et des systèmes de robotique spécialisés pour automobiles, destinés à des applications à usage intensif. L'Ontario Robotics Centre (ORC) a élaboré la solution conceptuelle de l'inspection automatisée de panneaux de bord en recourant à un système de vidéo-informatique, à des capteurs tactiles et à un robot.

Fabrication

Voici les endroits où s'effectuent des recherches d'applications de la robotique à la fabrication, ou les endroits où on a déjà mis en oeuvre de telles applications : Bata (élaboration d'une table programmable de découpage de matériaux avec un couteau à jet d'eau, et d'un système CAO tri i ensionnel pour la conception de chaussures), Horizon (concepts d'usines automatiques), Vadeko (intégration de la CAO/FAO dans ses projets d'automatisation d'usines), Promatic (élaboration d'une série de composants modulaires, reliés, qui automatisent des tâches), Division de génie électrique (CNRC) (tâches complexes recourant à des informations extéroceptives dans un milieu partiellement non structuré comme en assemblage flexible), ARC et CRIQ (implantation de la technologie de la robotique dans des entreprises de leurs provinces) et l'ORC (intégration de techniques de robotique offertes sur le marché à des procédés de fabrication existants).

Extraction minière

Le CANMET effectue des travaux de recherche et de développement pour combler les besoins à court terme d'automatisation de certains aspects de l'extraction minière. Ce Centre s'est également engagé dans un important programme d'élaboration d'un système automatisé complet pour l'extraction minière souterraine dans de la roche dure. Des compagnies comme INCO, Spar et Vadeko considèrent maintenant l'extraction minière comme un domaine où elles pourraient développer des applications de leur technologie.

Espace

Spar a mis au point le bras canadien pour la navette spatiale de la NASA et cherche à présent à élaborer un système de dépannage pour la station spatiale de la NASA.

Milieu sous-marin

L'un des plus importants marchés de RSI est le secteur des fabricants de véhicules sous-marins.

Soudage

Le soudage est l'une des applications hautement spécialisées de la robotique. Parmi les organisations canadiennes qui se penchent avec intérêt sur la réalisation d'applications de la robotique au soudage, mentionnons Servo-Robot et l'Institut canadien de soudage (ICS). Pour sa part, Servo-Robot mène des études de recherche et de développement en vue de mettre au point des systèmes de soudage robotisés dotés de la commande adaptative en temps réel pour le pistage de cordons de soudure. Il vise en dernier ressort à réaliser un système dans lequel seront intégrés la vision, un contrôleur intelligent et la programmation de divers types de soudage. L'Institut canadien du soudage se livre dans des laboratoires du CNRC à des travaux sur une commande s'adaptant aux paramètres de soudage, commande qui comprendrait la surveillance de groupes de soudures et la vision infrarouge.

Enseignement

Etant donné la rapidité avec laquelle la robotique apparaît dans les milieux de travail, la formation de personnes qui l'utiliseront constitue une partie importante du processus global d'automatisation de l'industrie canadienne. C'est la raison pour laquelle plusieurs compagnies se sont dotées d'installations de formation en robotique. C'est le cas d'Horizon (enseignement de la robotique par l'entremise de séminaires dans lesquels on utilise des robots d'apprentissage), l'Ontario Robotics Centre (séminaires dans ses installations avec utilisation de sa panoplie de robots industriels comme aides d'apprentissage), CRS Plus (robot d'apprentissage prototype) et RSI (production de petits robots comme outils pédagogiques).

Milieux hostiles et déchets dangereux

Certaines applications robotiques éliminent les risques que présentent pour les travailleurs humains certains milieux hostiles, et dans de nombreux cas permettent d'effectuer des travaux qui ne pourraient pas être faits autrement. À cet égard, les travaux du Laboratoire nucléaire de Chalk River cherchent à implanter la robotique dans un milieu nucléaire. Ce laboratoire envisage même le transfert de sa propre technologie au secteur non nucléaire. Les activités de Vadeko traitent du développement d'un système de téléréparation pour l'entretien de réacteurs nucléaires. Pour sa part, RSI met au point des ensembles électroniques résistants et peu encombrants pour des milieux hostiles, comme des manipulateurs de déchets dangereux, des télémanipulateurs et outils destinés à des milieux dangereux et inaccessibles.

3. TRAVAUX DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT DANS LES COLLÈGES ET UNIVERSITÉS

Dans ce chapitre, on résume les renseignements sur les universités et les collèges où sont effectués des travaux connexes à la robotique. En raison des différences qu'ont fait ressortir les réponses au questionnaire, nous avons décidé d'avoir trois types d'entrées. D'abord, pour les universités ne consacrant qu'un petit nombre de ressources à cette recherche, n'ayant à leur actif que quelques publications et dont l'équipe de recherche se résume à quelques personnes seulement, il y a une entrée qui est un résumé général pour l'université. Pour les universités où la recherche en robotique est de très haut niveau, dont l'équipe de recherche est imposante et qui comptent un grand nombre de publications, il y a une deuxième entrée qui détaille tous les départements et les recherches qu'on y effectue. Le troisième type d'entrée sert pour les collèges seulement : on nomme les équipements de robotique et les personnes qui travaillent dans cette spécialisation.

Par souci de facilité et d'équité (c'est-à-dire pour ne pas ranger les établissements d'enseignement d'après la valeur de leurs recherches), les entrées de ce chapitre sont divisées par province (de l'Ouest à l'Est) et placées alphabétiquement à l'intérieur d'une province.

3.1 Centres de recherche et de développement

Dans cette section, les maisons d'enseignement traitées se répartissent en deux groupes de recherche en robotique. Le premier groupe comprend les maisons d'enseignement dans lesquelles s'effectuent des recherches proprement en robotique comme en manipulation, en commande, en locomotion, en communication, sur les capteurs, sur les actionneurs, sur les matériaux et sur les applications. Le second groupe comprend les maisons d'enseignement où s'effectuent des recherches applicables à la robotique dans des disciplines comme la psychologie, la physiologie ou l'informatique sur des sujets comme la vidéo-informatique (rapport entre la vision biologique et la video-informatique), l'intelligence artificielle et l'analyse assistée par ordinateur. Les entrées de ces deux groupes sont fusionnées et données à leur rang géographique et alphabétique.

UNIVERSITÉ DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

Département de génie mécanique

2324 Main Mall
Vancouver (Colombie-Britannique)
V6T 1W5

Professeur D.B. Cherchas
(604) 228-4902

1) Renseignements sur le cadre de recherche

Les travaux de recherche et le développement en robotique ont été lancés à ce Département en juillet 1982, ce qui coïncidait avec l'arrivée des professeurs D.B. Cherchas et F. Sassani. On y a depuis greffé un programme d'enseignement pour la recherche, un pour les étudiants des deuxième et troisième cycles et, un assez limité, pour les étudiants du premier cycle. Le financement de la recherche se fait au moyen de subventions (subventions de fonctionnement du CRSNG 25 000 $ par année) et par la réalisation de contrats (75 000 $ par année).

Comme équipements de recherche nous retrouvons : un robot PUMA 560 (VAL II), un ordinateur VAX 11/750, un terminal graphique IRIS 1400 de Silicon Graphics (ordinateur principal à 32 bits, liaison Ethernet à VAX), une tour à CN, 2 machines à CN et un certain nombre de terminaux et d'imprimantes graphiques. Les projets d'expansion font état de l'achat de machines à commande numérique plus récentes et d'un système de vision.

II) Renseignements sur le personnel

Chercheurs principaux :

Prof. D.B. Cherchas	Professeur associé	commandes, dynamique
Prof. F. Sassani	Professeur adjoint	fabrication flexible

En outre, direction d'un étudiant du troisième cycle et de six étudiants du deuxième cycle.

III) Activités de recherches

Les principales disciplines de recherche sont la théorie de la commande automatique de l'organe terminal, la mobilité du robot, la programmation automatique des robots et la programmation de centres de machines à commande numérique. Le principal objectif visé est de doter des organes robots de capacités extéroceptives et de l'intelligence.

Ce groupe est spécialisé en théorie de la commande, en dynamique et en programmation automatique. Ses principales réalisations sont la mise au point d'une technique de programmation automatique pour robots de soudage, le

traitement des données d'un sondeur de robot de soudage, la rédaction d'un logiciel de conduite d'un robot mobile et l'élaboration d'algorithmes en boucle fermée et d'algorithmes ponctuels. Le but ultime de ces recherches est d'exploiter les résultats sur l'intelligence artificielle pour amener la commande des robots à un niveau très évolué.

Le logiciel servant à la recherche est formé d'un module "Expert Welder", rédigé sur place, qu'on utilise pour la programmation automatique des robots de soudage du logiciel VAL II servant au PUMA 560 que l'on a acheté, enfin, d'un progiciel de simulation du mouvement, également acheté et appelé "MOVIE BYE", que l'on adapte au terminal IMS 1400.

IV) Références bibliographiques

1. Development of an automatic programming system for a welding robot: Phase I, Rapport de contrat UBCME, février 1984.

2. Feasibility study on the long term application of robotic manipulators in forest product operations, Rapport de contrat UBCME, juin 1983.

3. Cherchas, D.B., et autres, Automatic off-line programming of welding robots, soumis à l'International Journal of Robotics Research.

4. Sassani, F., Buchal, R., Cherchas, D.B. et Duncan, J.P., Design and development of a MIG welding data base for robotics applications, Cinquième Colloque international IASTED sur la robotique et l'automatisation, Nouvelle-Orléans, du 12 au 14 novembre 1984.

UNIVERSITÉ DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

Département de génie électrique

Laboratoires mixtes de robotique et de téléopération
2356 Main Mall

Vancouver (Colombie-Britannique)
V6T 1W5

Professeur P.D. Lawrence
(604) 228-5934

I) Renseignements sur le cadre de recherche

C'est en 1983 que furent lancées les activités du Département de génie électrique concernant la robotique et la téléopération. Le groupe de recherche est associé au Département de génie mécanique par l'intermédiaire des Laboratoires mixtes de robotique et de téléopération.

On y trouve les équipements de recherche suivants : un robot asservi c.c. à 6 degrés de liberté Robotic Systems International RT3, un système IP-512 Imaging Technology, un processeur matriciel FPS 100E de Floating Point Systems et les ordinateurs VAX 11/750, PDP 11/23, HP 9000 et IBM-PC.

Le financement pour la recherche et l'achat d'équipements provient des subventions de fonctionnement du CRSNG, du Conseil des sciences de la Colombie-Britannique et de Robotic Systems International.

II) Renseignements sur le personnel

Chercheur principal :

Prof. P.D. Lawrence	Prof. associé	applications de l'informatique aux télémanipulateurs et au traitement au signal

Autres chercheurs :

Prof. E. Bohn	Professeur	systèmes de commande
Prof. M. Davies	Professeur associé	systèmes de commande
Prof. G. Dumont	Professeur auxiliaire	systèmes de commande
Prof. W. Dunford	Professeur adjoint	commande de puissance
Prof. J. McEwen	Professeur auxiliaire	génie biomédical
Prof. D. Pulfrey	Professeur	conception pour l'intégration à grande échelle
Prof. R. Ward	Professeur adjoint	traitement d'images, systèmes de commande

III) Activités de recherche

Les disciplines de recherche explorées sont les suivantes : interfaces humaines pour la téléopération, analyse et compression d'images et système adaptatif pour le contrôle et l'apprentissage. Les objectifs du groupe sont d'améliorer la commande humaine des systèmes de manipulation industriels et de concevoir des systèmes adaptatifs pour la commande de manipulateurs. Voici les principales réalisations à ce jour : contribution à la théorie de la reconstruction des images échantillonnées non uniformément; élaboration de méthodes (et rédaction des logiciels) pour le traitement numérique d'images en stéréoscopie, évaluation quantitative des facteurs humains intervenant dans la manipulation sousmarine en recourant à la reconnaissance de la vitesse et à des commandes de caméras automatisées; et la conception d'un circuit intégré destiné à la conversion cinématique d'une commande de robot (dont la fabrication est en cours).

Ce Département entretient une étroite collaboration avec les départements de génie mécanique et d'informatique, Robotic Systems International (Sidney, C.-B.), International Submarine Engineering, MacMillan Bloedel Ltd. et Andronic Ltd.

IV) Références bibliographiques

Voici quelques-uns des rapports rédigés par des membres des Laboratoires mixtes de robotique et de téléopération :

1. Clark, J., Palmer, M., et Lawrence, P., A transformation method for the reconstruction of functions from non-uniformly spaced samples, 2^{e} rapport de laboratoire UBC JRT, février 1985.

2. Clark, J., et Lawrence, P., Scale space analysis of stereo disparity errors, 3^{e} rapport de laboratoire UBC JRT, février 1985.

3. Clark, J., et Lawrence, P., A systolic parallel processor for the rapid computation of multi-resolution edge images using the $\nabla^2 G2$ G operator, 1er rapport de laboratoire UBC JRT, février 1985.

4. Clark, J., et Lawrence, P., Determination of disparity gradients with binocular diffrequency measurements, 4^{e} rapport de laboratoire UBC JRT, février 1985.

UNIVERSITÉ DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE

Département d'informatique

Le Laboratoire de vidéo-informatique

6356 Agricultural Road
Vancouver (Colombie-Britannique)
V6T 1W5

Professeur R.J. Woodham
(604) 228-3061

I) Données sur le Centre

Historique et développement du Centre

À l'origine ce Laboratoire n'était qu'un groupe de recherche en informatique de l'UCB. En 1974, l'Université engageait Alan Mackworth qui venait de terminer ses études de doctorat sous la direction de Max Clowes de l'Université de Sussex. D'emblée, les recherches portèrent sur deux domaines d'application : l'interprétation des images de satellites Landsat et l'interprétation des croquis de cartes. Dans ces domaines, la représentation et l'utilisation des connaissances cartographiques et géographiques sont des éléments critiques. Mackworth et ses étudiants furent les premiers à appliquer le paradigme de la vidéo-informatique à la télédétection.

Au Canada, et particulièrement en Colombie-Britannique, il a toujours été nécessaire de former plusieurs spécialistes en télédétection. Conscients de ce besoin et dans le but de faire de l'enseignement de la télédétection une des forces de l'Université de la Colombie-Britannique, P.A. Murtha (Foresterie et pédologie), Mackworth, A.L. Farley (géographie) et H.R. Bell (génie civil) ont proposé en 1977 de mettre sur pied un programme interdisciplinaire d'études supérieures en télédétection, financé à titre de programme d'excellence par le Conseil des universités de la Colombie-Britannique par l'entremise du Comité des gouverneurs de l'UCB. Trois personnes ont été engagées en rapport avec ce programme : Bob Woodham qui occupe un poste mixte attribué à la Faculté de foresterie et au département d'informatique et dont la responsabilité est d'élaborer le programme de télédétection; puis deux techniciens (un pour le Laboratoire de foresterie de Murtha et l'autre pour le Laboratoire de la vidéo-informatique). Une subvention permanente sert à la rémunération de ces trois postes.

Woodham s'est joint en 1978 au Laboratoire après avoir travaillé une année comme scientifique au Laboratoire d'intelligence artificielle du MIT et après avoir terminé en 1977 ses études doctorales sous la direction de Berthold Horn. À l'Université de la Colombie-Britannique, il a continué de

développer une solution de vidéo-informatique pour la télédétection. En particulier, il fut le premier à appliquer les modèles numériques de terrain (M.N.T.) à l'analyse des images Landsat.

Très tôt, il est devenu évident que les groupes de recherche concernés ne pouvaient mener à bien leur programme de recherche sans qu'on améliore grandement l'installation informatique d'analyse d'images numériques. D'où l'initiative de Mackworth et Woodham, de concert avec Murtha, W.J. Emery (océanographie), J.R. Auman, G.G. Fahlman, P. Hickson, T.K. Menon et G.A.H. Walker (géophysique et astronomie) et J.L. Paul et W.M. Thurlbeck (pathologie), de demander une subvention pour appareillage important au CRSNC, appelée "Extension au système d'analyse d'images numériques". En 1981, le CRSNC acceptait de financer en partie cette extension, les fonds supplémentaires provenant de l'Université de la Colombie-Britannique et du CRM.

En 1981, Bill Havens se joint au Laboratoire. Ce dernier a terminé en 1978 ses études de doctorat, effectuées sous la direction de Mackworth et portant sur une représentation cognitive destinée à la vidéo-informatique. L'intervalle de trois ans entre ces deux dates, il le passa d'abord à l'Université Simon Fraser puis à l'Université du Wisconsin à Madison, où il mit sur pied un laboratoire de vidéo-informatique.

En 1981 Mackworth est nommé directeur du Laboratoire; à ce titre, il est responsable de la politique générale, de l'administration et du financement. Il agit de concert avec les membres du comité administratif et est conseillé par d'autres professeurs attachés au Laboratoire. Ce comité de gestion est formé des personnes suivantes : Emery, Fahlman, Havens, J. Leigh (centre de calcul), Mackworth et Woodham.

En novembre 1984, Woodham remplace Mackworth comme directeur, ce dernier devenant coordinateur de la constituante UCB du programme d'intelligence artificielle et de robotique de l'Institut canadien des recherches supérieures (ICRS). En juillet 1984, Mackworth et Woodham deviennent membres associés de cet Institut.

Installations

Le Laboratoire de la vidéo-informatique possède un système d'analyse d'images numériques. La première subvention du programme d'excellence a permis d'acheter un système de traitement et d'affichage d'images numériques, un Comtal Vision One, dont l'installation eut lieu en 1978. On a alors demandé au Centre de calcul de l'Université de la Colombie-Britannique l'installation d'une liaison rapide pour la transmission des données d'images entre leur système, un Amdahl 470 exploité par le MTS, et le Comtal. Le coût des éléments matériels de cette liaison a été approuvé dans leur budget; elle a été installée durant l'été de 1980.

L'extension d'envergure du système s'est produite en 1981. L'ordinateur principal utilisé actuellement est un DEC Vax 11/780 doté de divers périphériques. Se trouvent également greffés à ce système un scanneur/rédacteur de films couleurs haute résolution Optronics C-4500, deux postes de travail

d'affichage d'images, le Comtal Vision One, un Raster Technologies Model One/25 et une série d'autres matériels pour l'introduction d'images, la fourniture de données de sortie et les communications.

Ce système est doté de matériels et des logiciels gérés par Unix nécessaires à l'introduction d'images, à leur traitement et à leur affichage sur écran et sur une variété de pellicules. Une bibliothèque de logiciels, oeuvrant sur une représentation d'images standard, permet la manipulation d'images, la correction radiométrique et géométrique, la superposition d'images, le filtrage, la classification, le grossissement et l'interprétation. Certains de ces logiciels sont pris en charge pour notre compte par le Centre de calcul sur son système Amdahl/MTS. Divers programmes propres à la recherche sur l'intelligence artificielle et à la vidéo-informatique, par exemple des langages de représentation cognitive, ont été élaborés et sont exécutés sur notre système Vax/Unix.

Affiliations

Le Laboratoire est affilié principalement : 1) au département d'informatique de l'Université; 2) au programme interdisciplinaire d'études supérieures en télédétection, faculté de foresterie; et 3) à la constituante UCB du programme sur l'intelligence artificielle et la robotique de l'Institut canadien des recherches supérieures.

Sources de financement et montants accordés

Le budget d'exploitation du Laboratoire pour l'année financière 1984-1985 a été de 160 695 $; voici les sources de financement et les montants accordés :

Source	Montant
CRSNC	110 233
Université	33 642
ICAS	16 312
Autres	508

Les autres montants affectés aux recherches effectuées par notre laboratoire proviennaient des subventions personnelles des professeurs.

Grille tarifaire pour des services rendus à des personnes extérieures

Le visualisateur Comtal Vision One est à la disposition de tous et utilisé intensivement par des chercheurs de nombreux départements de l'Université. Par ailleurs, le système Vax 11/780 est principalement utilisé par un groupe de onze chercheurs participant à la subvention pour appareils importants du CNSNC. Vu la nature délicate de l'appareil Optronics, toutes les demandes de balayage et de rédaction de film sont gérées par Nedenia Krajci, le technicien en télédétection. Les utilisateurs extérieurs de l'appareillage de balayage et de rédaction de films sont facturés à l'heure; ces revenus servent seulement à payer le salaire du technicien pour les heures qu'il consacre à cette tâche.

Clientèle

En premier lieu, le Laboratoire est destiné aux chercheurs de l'Université. Des recherches sur la vidéo-informatique, la foresterie, l'océanographie, l'astronomie, la géographie, la physique, le génie électrique, la pédologie et l'urbanisme y ont déjà été effectuées.

La fonction de balayage et de rédaction de films de l'Optronics est exclusive et peut toujours être utilisée par des chercheurs de l'Université, des chercheurs d'autres universités et des personnes de l'entreprise privée.

Cependant, les utilisateurs extérieurs sont filtrés d'après l'importance pour leurs recherches d'utiliser cette fonction, la contribution qu'ils peuvent apporter à l'utilisation de cette fonction par exemple le développement de langages de programmation ou la gestion de réseaux informatiques, et d'après la parenté existant entre leurs recherches et celles effectuées au Laboratoire de vidéo-informatique.

Projets d'expansion

Nous poursuivons la restructuration de notre appareillage de calcul en un réseau réparti. Celle-ci vise à améliorer l'accès aux installations actuelles et à augmenter la productivité. C'est également un premier pas vers l'addition de nouvelles installations. Nous avons commandé un SUN modèle 120/FS qui deviendra un serveur Éthernet pour le Raster Technologies Model One/25. Nous partagerons ce réseau Éthernet avec d'autres machines et ressources du Département d'informatique.

De plus en plus, dans le cadre de nos recherches, nous devons intégrer des calculs d'analyses d'images antérieures, principalement numériques, à ceux d'analyses d'images plus récentes, principalement symboliques. La composante expérimentale de notre programme de recherches est en voie d'excéder nos ressources actuelles. La majorité de nos développements de logiciels se fait soit directement sur Lisp ou indirectement dans des systèmes de représentation cognitive intégrée dans Lisp. À présent, il y a sur le marché de nombreux vendeurs de machines Lisp dont le logiciel et le matériel sont compatibles avec notre environnement. Nous espérons pouvoir rédiger, en 1985-1986, des applications faisant l'objet de subventions afin de financer les machines Lisp de notre Laboratoire.

II) Renseignements sur le personnel

Directeur :	R.J. Woodham	Foresterie/informatique
Professeurs :	W.S. Havens	Informatique
	A.K. Mackworth	Informatique
	R.J. Woodham	Foresterie/informatique
Professeurs affiliés :	W.J. Emery	Océanographie
	G.G. Fahlman	Géophysique et astronomie

	J.E. Hay	Géographie
	P.A. Murtha	Foresterie
Professeur invité :	R. Reiter	Informatique
Employés :	T. Lee	Programmeur analyste ICES
	N. Krajci	Technicien en télédétection (temps partiel)
	F. Pronk	Gestionnaire de laboratoire
	M. Vink	Secrétaire ICES
	C. Whitehead	Administrateur adjoint (temps partiel)
Employés affiliés :	P. Boyle	Informatique
	P. Chan	Informatique
	J. Demco	Informatique
	D. Laplante	Océanographie
	P. Nowlan	Océanographie
	R. Sample	Informatique

Étudiants aux études supérieures :

Actuellement, les études de quatre étudiants du troisième cycle et de neuf étudiants du deuxième cycle, de même que de neuf étudiants des deuxième et troisième cycles affiliés, sont dirigés par des professeurs de ce Laboratoire.

III) Activités de recherche

Le Laboratoire de vidéo-informatique de l'Université de la Colombie-Britannique met surtout l'accent sur l'application de la vidéo-informatique aux systèmes de télédétection et d'information géographique. De la liste des disciplines données à l'annexe du questionnaire, voici les disciplines dans lesquelles ce Laboratoire est spécialisé : la représentation cognitive, la modélisation du monde et reconnaissance des formes. Bien que ce Laboratoire s'intéresse surtout à la télédétection, il effectue également des recherches dans d'autres domaines dont l'inspection et l'entretien, les environnements spatiaux et l'environnement agricole.

L'objectif primordial du Laboratoire de vidéo-informatique est de doter les machines du sens de la vision, d'une part pour les rendre plus utiles et, d'autre part, pour mieux saisir la nature de la perception même. L'utilité de machines qui voient n'a pas à être démontrée, tout comme n'a pas à l'être, de l'avis du personnel du Laboratoire, le fait que la vidéo-informatique constitue la solution scientifique qui permettra aux machines de voir. De plus, les membres du Laboratoire croient que la vidéo-informatique est en train de se transformer en un nouveau langage d'expression des théories algorithmiques de la perception.

Voici un résumé des principales disciplines de recherche des professeurs et de leurs étudiants :

Représentations et algorithmes cognitifs pour la vidéo-informatique (A.K. Mackworth)

Dans le cadre du projet d'interprétation coopératif, Mackworth et Mokhtarian ont découvert une nouvelle représentation cognitive de la forme et élaboré un algorithme de calcul et d'utilisation de celle-ci. Cette représentation a permis de réussir l'appariement d'images Landsat avec des cartes mémorisées dans une base de données. Des expériences supplémentaires avec Mapsee2 ont été menées par Havens et Mulder. Un nouvel algorithme de cohérence d'arc hiérarchique a été imaginé, et on en a exploré les limites théoriques et pratiques. D'autres résultats tirés d'études sur des algorithmes des cohérences destinés aux problèmes de satisfaction des contraintes ont été communiqués.

Archibald a mené à bien un projet conjoint entre notre Laboratoire et celui de Nestor Burtnyk du CNRC en utilisant la caméra tridimensionnelle à télémètre laser de Marc Rioux, conçue pour la robotique. Jan Mulder a terminé ses recherches doctorales sur la mise en oeuvre de Mapsee3 et termine la rédaction de sa thèse.

L'étudiant Katz poursuit d'autres travaux sur la perspective stéréo et la structure d'un espace à l'échelle. Les travaux actuels gravitent autour de la connaissance de la logique de la représentation, de l'interprétation coopérative, des transformations conformes et de la théorie de la vision, dans le but d'appliquer ces connaissances à la télédétection et à la cartographie. Les travaux à venir devraient être un prolongement de ces derniers.

Méthodes photométriques d'analyse d'images (R.J. Woodham)

L'objet de cette recherche est de reconnaître les contraintes et de définir les calculs qui rendent possible la vision. Les développements particuliers obtenus sont : la correction géométrique et radiométrique des données de scanneur multibande; la représentation de la forme, de l'orientation et de l'altitude; la reproduction exacte des images numériques couleurs.

Dans sa thèse de doctorat, Wong a démontré la faisabilité d'un système de correction géométrique d'images de satellite à grand débit, système prenant en considération la correction du déplacement du relief. Ce dernier travail a été effectué en collaboration avec MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd. La correction radiométrique tient compte de la hauteur, de la pente et des effets dépendant du rapport longueur/largeur. Lee a élaboré un modèle qui permet de connaître les effets de l'éclairement énergétique du soleil, de l'éclairement énergétique du ciel et de la luminescence énergétique du trajet d'une scène. L'application de ce modèle à des images MSS Landsat d'un centre d'essais près de St Mary Lake (C.-B.) a été couronnée de succès.

Il est possible de représenter des objets en précisant leur superficie en fonction de leur orientation, pour obtenir ce qu'on appelle une image

gaussienne étendue (IGÉ). La thèse de doctorat de Little a recours à cette image. Un algorithme antérieur d'inversion de l'image gaussienne étendue d'un objet convexe a abouti à une nouvelle construction géométrique dite "volume mixte". À partir de données brutes sur la surface tirées de la stéréoscopie d'une comparaison d'images gaussiennes étendues partielles et du recours au volume mixte comme mesure de similitude, on détermine l'altitude d'un objet connu à partir d'une partie mesurée de sa surface. De cette façon un robot peut choisir des pièces mélangées dans un casier.

Le mémoire de maîtrise de Heiss relate la mise en oeuvre d'un logiciel qui étalonne numériquement le programme de rédaction sur film de l'Optronics C-4500. Il est à présent possible de déterminer le triplet des expositions numériques nécessaire à la production du triplet souhaité des densités intégrales des couches de colorant, et cela pour une combinaison arbitraire de type et de traitement de pellicule. Il s'agit là d'un travail préalable à la poursuite des travaux sur la reproduction exacte et l'amélioration d'images numériques couleurs.

De nouveaux travaux de recherche sont en cours sur la théorie de la régularisation qui cherche à unifier les méthodes précédentes de détermination de la forme à partir de l'ombre portée. Rensink continue de s'intéresser, en collaboration avec A. Treisman du Département de psychologie, à la perception des textures auto-analogues. Majka recherche les contraintes sémantiques entre une représentation vectorielle et une représentation à trame en télédétection et dans les systèmes d'information géographique. Deux étudiants en foresterie de la Faculté des études supérieures, Gray et Dumoulin, ont appliqué indépendamment des techniques quantitatives à des problèmes pratiques de télédétection forestière.

Équivalence représentationnelle de la connaissance qui sous-tend la perception visuelle (W.S. Havens)

Les tâches de perception visuelle sont étudiées actuellement à titre de véhicule expérimental pour la compréhension d'une représentation cognitive. Quelle forme de connaissance sous-tend le mécanisme de la vision, et comment peut-on représenter cette connaissance et la simuler dans un programme informatique, voilà la question qu'on se pose. L'hypothèse de base à l'origine de ce travail est qu'il existe des principes d'organisation naturels à toute tâche d'identification, et que l'étude de ces tâches parviendra à mettre en lumière cette structure. Particulièrement, il semble que la composition et la spécialisation se révèlent comme les deux aspects majeurs du processus de reconnaissance. Pour comprendre ce processus, nous avons élaboré un modèle formel de cohérence expliquant les représentations cognitives à base de schémas.

Ces représentations ont été appliquées à la compréhension des images. La conception de circuits à intégration à très grande échelle (VLSI) demeure un art qui ne parvient pas à suivre le rythme de la technologie VLSI. La fabrication de ces circuits ne cesse de provoquer des erreurs très onéreuses malgré

la présence de programmes très puissants de vérification des règles de conception et des simulateurs de circuits. Havens et Alon ont fait la preuve qu'il pouvait exister une méthode de remplacement qui reconnaît la description d'une fonction logique abstraite d'un circuit VLSI à partir de son dessin de photogravure. C'est une technique qui inverse le processus de conception de manière à reconstituer la fonction logique réellement fabriquée dans la puce.

Réalisations et développements principaux jusqu'à ce jour

Les premiers travaux de Mackworth ont imposé l'utilisation de contraintes métriques, plutôt que topologiques, pour l'interprétation des tracés de ligne des scènes polyédriques. Cet auteur insista pour décrire l'orientation des surfaces au moyen de représentations spatiales à gradient. D'ailleurs, l'espace à gradients demeure l'un des outils fondamentaux des recherches actuelles en vidéo informatique.

De nombreuses tâches en vidéo informatique, entre autres, sont exprimées idéalement au moyen de problèmes de satisfaction de contraintes. Depuis toujours ces problèmes étaient résolus au moyen d'algorithmes de suivi inverse ou d'algorithmes de "filtrage" mal compris. Mackworth a décrit une classe d'algorithmes, appelée algorithmes de cohérence du réseau, qui dote les techniques d'analyses et d'applications d'un cadre unifié assurant l'élimination des incohérences locales dans les réseaux de relations.

Le travail de Woodham a développé la solution de Horn pour la détermination de la forme à partir des ombres portées. Il a également introduit une technique de stéréoscopie qui est devenue la première réalisation pratique d'une méthode de détermination de forme d'objet à partir d'une approche photométrique de la vidéo-informatique.

Ce dernier auteur a également appliqué ses techniques, mises au point initialement pour l'examen automatique des défauts de surface des coulées de métaux, aux problèmes de télédétection. Particulièrement, il fut le premier à recourir aux modèles numériques de terrain pour la correction radiométrique et géométrique des données d'images satellites.

Havens a élaboré le langage de représentation cognitive MAYA, un dialecte multi-traitement de Lisp qui propose les structures de données nécessaires à la représentation des organisations schématiques et de la commande rendant possible, ainsi, les combinaisons de solutions de bas en haut et de haut en bas proposées pour la reconnaissance. Havens a apporté une contribution importante au Laboratoire en supervisant l'élaboration d'un langage de haut niveau nécessaire à nos recherches et en concevant, en implantant et en gérant une bibliothèque de représentations d'image et de procédures d'accès.

Le Laboratoire de la vidéo-informatique a mis au point une installation d'analyse d'images numériques qui comprend tout le matériel et tout le logiciel nécessaires à l'introduction, au traitement et à la sortie d'images sur écran ou sur une grande variété de pellicules. Une bibliothèque de logiciels destinés à la manipulation, à la correction radiométrique et géométrique, à la superposition, au filtrage, au classement, à l'accentuation et à

l'interprétation des images est gérée par un Unix 4.2BSD qui utilise une représentation d'images standard. Des versions de notre logiciel se retrouvent au MIT, à l'Université Western Ontario, à l'université Queen's et à l'Université Simon Fraser.

Principaux programmes rédigés ou utilisés

mapsee - programme d'interprétation des croquis de cartes.
MAYA - langage de représentations cognitives inclus dans Lisp.
Multilisp - la machine virtuelle Interlisp en Pascal.

Un format standard de fichier image et de fichier graphique qui s'adapte aux langages C et Franzlisp et qui prend en charge le Comtal Vision One, le Raster Technologies One/25, le télidon, l'Optronics C-4500, le MacIntosh d'Apple, un dérouleur de bande magnétique et l'imprimante à laser Imagen.

Groupes avec lesquels le Laboratoire est en rapport

Les deux membres associés du ICAS du Laboratoire, Woodham et Mackworth, entretiennent des rapports avec les autres membres associés de l'Université de la Colombie-Britannique, soit Reiter, Treisman et D. Kahneman, de même qu'avec d'autres membres associés de McGill et de Toronto.

Notre Laboratoire est associé au Programme interdisciplinaire d'études supérieures en télédétection et coopère avec des membres du Conseil de télédétection de l'UCB.

Également à l'actif du Laboratoire, il y a sa collaboration aux recherches en télédétection avec MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd., avec le Centre canadien de télédétection et avec le ministère des Forêts de la C.-B.

Le Laboratoire participe aussi à des recherches en robotique avec des laboratoires du CNRC et du MIT, tout en coopérant avec deux groupes de robotique de l'UBC : celui de D. Cherchas et ses collaborateurs en génie civil et celui de P. Lawrence et ses collaborateurs en génie électrique.

Notre rôle dans le milieu de la recherche en robotique

À titre d'institution d'enseignement et de laboratoire de recherche, le Laboratoire de vidéo-informatique a comme principal rôle de construire un milieu de recherche propice au développement et à l'essai des idées avant-gardistes en intelligence articifielle, en représentation cognitive, en modélisation de l'univers, en vision artificielle et en graphisme. Il forme des étudiants qui seront nos chercheurs en robotique de demain dans les universités, les organismes gouvernementaux et l'industrie.

Nos compétences s'exercent particulièrement dans les domaines de la télédétection et des systèmes d'information géographique, qui sont d'une importance pratique essentielle pour le Canada. Notre pays, à cause de son économie d'exploitation des ressources et de l'immensité de ses terres et de ses plans d'eau, souvent inaccessibles, serait incapable de gérer efficacement ces ressources sans la télédétection. Le gouvernement canadien et l'industrie sont des chefs de file dans le domaine de l'élaboration de cette technologie

et sa diffusion. Le Laboratoire de vidéo-informatique a réussi à atteindre un statut d'excellence en ce qui a trait aux recherches et à l'enseignement dans cette discipline.

Participation au Forum mixte de coordination de la coopération internationale en robotique d'avant-garde

Le Laboratoire de la vidéo-informatique a créé un milieu de recherche propice au développement et à l'essai des techniques perfectionnées de la vision artificielle. D'ailleurs les systèmes de vision intelligents se préparent à devenir les éléments critiques de nombreux projets de robotique d'avant-garde. Rien n'est donc plus logique que la participation de notre laboratoire aux projets de robotique émanant du Forum. D'ailleurs cette participation donnera à des personnes de notre laboratoire la chance de poursuivre activement leurs projets.

Comme nous l'avons déjà dit, notre laboratoire collabore déjà avec le gouvernement (CNRC, CCT, BC MOF) et l'industrie (MDA). On se penche présentement sur de nouveaux projets qui pourraient intéresser des membres de notre laboratoire. Woodham travaille, ainsi que d'autres membres associés du ICAS, des professeurs et des chercheurs de SPAR Aerospace, à la planification de la participation canadienne à la station spatiale américaine. Ce chercheur est également membre du groupe de travail des systèmes d'analyse d'images et d'intelligence artificielle (IASAIWG) du Comité consultatif canadien de télédétection. Il s'agit d'un groupe de travail réunissant des représentants des universités, du gouvernement et de l'industrie, qui s'est fixé comme but de développer au Canada la télédétection et les systèmes d'information géographique.

IV) Références bibliographiques

Contribution à des livres :

1. Havens, W.S., Recognition mechanisms for schema-based knowledge representations, Computational Linguistics, N. Cercone (éd.), Pergammon Press, 1983.

2. Mackworth, A.K., How to see a simple word : an exegesis of some computer programs for scene analysis, Machine Intelligence 8, E.W. Elcock et D. Michie (éds), John Wiley & Sons, pp. 510-540, 1977.

3. Mackworth, A.K., Vision research strategy : black magic, metaphors, mechanisms, miniworlds and maps, Computer Vision Systems, A.R. Hanson et E.M. Riseman (éds), Academic Press, pp. 53-61, 1978.

4. Mackworth, A.K., Consistency in networks of relations, Readings in Artificial Intelligence, B.L. Webber & N.J. Nilsson (éds), Tioga Pub. Co., pp. 69-78, 1981.

5. Mackworth, A.K., Constraints, descriptions and domain mappings in computational vision, Physical and Biological Processing of Images, O.J. Braddick et A.C. Sleigh (éds), Springer-Verlag, pp. 33-40, 1983.

6. Mackworth, A.K., Constraint propagation, Encyclopedia of Artificial Intelligence, S. Shapiro (éd.), John Willey & Sons, (sous presse), 1985.

7. Murtha, P.A., Woodham R.J., Remote-sensing, photo interpretation and photogrammetry, Forestry Handbook for British Columbia (4e édition), S.B. Watts (éd.), Forestry Undergraduate Society, pp. 457-500, UBC, 1983.

8. Woodham, R.J., Photometric method for determining shape from shading, Image Understanding 1984, S. Ullman et W. Richards (éds), Ablex Publishing Corp., pp. 97-125, 1984.

9. Woodham, R.J., Analyzing curved surfaces using reflectance map techniques, Artificial Intelligence: An MIT Perspective, P.H. Winston et R.H. Brown (éds), Vol. II, MIT Press, pp. 161-182, 1979.

10. Woodham, R.J., Analysing images of curved surfaces, Computer Vision, J.M. Brady (éd.), North-Holland, pp. 117-140, 1981.

11. Woodham, R.J., Viewer-centred intensity computations, Physical and Biological Processing of Images, O.J. Braddick et A.C. Sleigh (éds), Springer-Verlag, pp. 217-229, 1983.

Articles de revues

1. Dionne, M.S., Mackworth A.K., ANTICS: A system for animating LISP programs, Computer Graphics and Image Processing, (7)105-119, 1978.

2. Havens, W.S., Recognition mechanisms for schema-based knowledge, 1983.

3. Horn, B.K.P., Woodham R.J., Destriping LANDSAT MSS images by histogram modification, Computer Graphics and Image Processing, 10(1)69-83, 1979.

4. Starr, D.W., Mackworth A.K., Exploiting spectral, spatial and semantics constraints in the segmentation of Landsat images, Canadian Journal of Remote Sensing, (4)101-107, 1978.

5. Mackworth, A.K., Interpreting pictures of polyhedral scenes, Artificial Intelligence, (4)121-137, 1973.

6. Mackworth, A.K., Model-driven interpretation in intelligent vision systems, Perception, (5)349-370, 1976.

7. Mackworth, A.K., Consistency in networks of relations, Artificial Intelligence, (8)99-118, 1977.

8. Mackworth, A.K., Are mediating representations the ghosts in the machine?, The Behavioral and Brain Sciences, (3)393-394, 1980.

9. Woodham, R.J., Photometric method for determining surface orientation from multiple images, Optical Engineering, 19(1)139-144, 1980.

10. Woodham, R.J., Analysing oimages of curved surfaces, Artificial Intelligence, (17)117-140, 1981.

Articles cités dans des comptes rendus de congès

1. Breu, H., Mackworth, A.K., Push and pop on pictures: generalizing the augmented transition network formalism to capture the structure and meaning of images, Compte rendu du Troisième Congès de la Société canadienne des études informatiques en intelligence, pp. 179-187, Victoria (C.-B.), 1980.

2. Browse, R.A., Mediation between central and peripheral processes: useful knowledge structures, Compte rendu du Troisième Congrès de la Société canadienne des études informatiques en intelligence, pp. 166-171, Victoria (C.-B.), 1980.

3. Browse, R.A., Knowledge identification and metaphor, Compte rendu du Deuxième Congrès de la Société canadienne des études informatiques en intelligence, pp. 48-54, Toronto (Ont.), 1978.

4. Catanzariti, E., Mackworth, A.K., Forests and pyramids: using image hierarchies to understand Landsat images, Compte rendu du Cinquième Colloque canadien sur la télédetection, pp. 284-291, Victoria (C.-B.), 1978.

5. Havens, W.S., Can frames solve the chicken and egg problem?, Compte rendu du Premier Congrès de la Société canadienne des études informatiques en intelligence, pp. 232-242, Vancouver (C.-B.), 1976.

6. Havens, W.S., A procedural model of recognition for machine perception, Compte rendu du Deuxième Congrès de la Société canadienne des études informatiques en intelligence, pp. 254-262, Toronto (Ont.), 1978.

7. Havens, W.S., Mackworth, A.K., Schemata-based understanding of hand-drawn sketch maps, Compte rende du Troisième Congrès de la Société canadienne des études informatiques en intelligence, pp. 172-178, Victoria (C.-B.), 1980.

8. Horn, B.K.P., Woodham R.J., Landsat MSS coordinate transformations, Compte rendu du Cinquième Colloque sur traitement par machine des données télédetectées, pp. 59-68, West Lafayette, Ind., 1979.

9. Little, J.J., Automatic registration of Landsat images using features selected, 1980.

10. Mackworth, A.K., Computer-based image understanding at UBC, Compte rendu du CIPS '78, pp. 422-424, Edmonton (Alb.), 1978.

11. Mackworth, A.K., Making maps make sense, Compte rendu du Premier Congrès de la Société canadienne des études informatiques en intelligence, pp. - 42-51, Vancouver (C.-B.), 1976.

12. Mackworth, A.K., On reading sketch maps, Compte rendu du Cinquième Congrès international mixte sur l'intelligence artificielle, pp. 597-696, Cambridge, MA., 1977.

13. Mulder, J.A., Mackworth, A.K., Using Multi-level semantics to understand sketches of houses and other polyhedral objects, Compte rendu du Deuxième Congrès de la Société canadienne des études informatiques en intelligence, pp. 244-253, Toronto (Ont.), 1978.

14. Woodham, R.J., A cooperative algorithm for determining surface orientation from a single view, Compte rendu du Cinquième Congrès international mixte sur l'intelligence artificielle, pp. 635-641, Cambridge, MA, 1977.

15. Woodham, R.J., Relating properties of surface curvature to image intensity, Compte rendu du Sixième Congrès international mixte sur l'intelligence artificielle, pp. 971-977, Tokyo, Japon, 1979.

Rapports techniques (choisis) d'informatique

1. Havens, W.S., A procedural model of recognition for machine perception, TR-78-3, 1978.

2. Mokhtarian, F., Mackworth A.K., Scale-based description and recognition of planar curves and two-dimensional shapes, TR-84-15, 1984.

3. Starr, D.W., Mackworth A.K., Interpretation-directed segmentation of ERTS images, TR-76-3, 1976.

4. Wong, F., A unified approach to the geometric rectification of remotely sensed imagery, TR-84-6, 1984.

5. Woodham, R.J., Photometric method for determining shape from shading, TR-84-10, 1984.

6. Woodham, R.J., Lee T.K., Photometric method for radiometric correction of multispectral scanner data, TR-84-14, 1984.

Thèses (choisis)

1. Archibald, C., Using range data for object recognition in a robotics environment (M.Sc. 1984).

2. Barenholtz, J., Towards a new animation technology (M.Sc. 1978).

3. Browse, R.A., Knowledge-based visual interpretation using declarative schemata (Ph.D. 1982).

4. Catanzariti, E., Using image hierarchies to interpret Landsat data: (M.Sc. 1977).

5. Glicksman, J., A cooperative scheme for image understanding using multiple sources of information (Ph.D. 1982).

6. Havens, W.S., A procedural model of recognition for machine perception (Ph.D. 1978).

7. Jankowski, R., Displaying human visual field data as shaded surfaces (M.A.Sc. 1984).

8. Lee, T., Modeling and estimating atmospheric effects in Landsat imagery (M.Sc. 1983).

9. Little, J., Automatic rectification of Landsat imagery using features derived from digital terrain models (M.Sc. 1980).

10. Mokhtarian, F., Scale-based description and recognition of planar curves (M.Sc. 1984).

11. Palmer, M., Using surface models to alter the geometry of real images (M.Sc. 1982).

12. Palmer, P., Colour manipulation of digital images (M.Sc. 1982).

13. Wong, F., A unified approach to the geometric rectification of remotely sensed imagery (Ph.D. 1984).

UNIVERSITÉ SIMON FRASER

Faculté de génie

Burnaby (Colombie-Britannique)
V5A 1S6

Professeur T. McGeer
(604) 291-4371

1) Résumé

La recherche en robotique est à ses tout premiers pas à cette faculté de génie qui, elle-même, vient tout juste d'être constituée (en mars 1984 et deviendra, en 1985, une école à l'intérieur de la nouvelle Faculté des sciences appliquées). Cette faculté possède les équipements de recherche suivants : un prototype du manipulateur "Excalibur" (Robotic Systems International - Sidney (C.-B.)) et des organes d'accès à des IBM-PC, à un VAX et à un ordinateur IBM. Pour l'année 1984-1985, l'Université a fourni un montant de 45 000 $ pour financer les recherches en robotique et l'achat d'équipements.

C'est le professeur McGeer qui effectue des recherches connexes à la robotique; ses domaines d'intérêt sont les suivants : commande de télémanipulateur, prévention des collisions, commande de manipulateurs pneumatiques et conception de véhicules autonomes intégrant la navigation par le son et la conduite à partir de la vision. Sa principale réalisation est la production d'un système de navigation acoustique à l'intention d'un robot mobile.

Ce groupe de recherche reste en contact avec Robotic Systems Int'l (Sidney (C.-B.)), MacDonald, Dettwiller and Associates (Richmond (C.-B.)), le Groupe de recherche en génie biomédical (hôpital général de Vancouver) et avec le Département de génie électrique de l'Université de la Colombie-Britannique.

II) Références bibliographiques

Rien pour l'instant.

UNIVERSITÉ SIMON FRASER

Département d'informatique

Burnaby (Colombie-Britannique)
V5A 1S6

Professeur B.V. Funt
(604) 291-4277

1) Résumé

Le Département d'informatique de cette Université compte dans ses rangs un chercheur, B.V. Funt, qui s'intéresse tout particulièrement à la vidéo-informatique. Il y a toutefois d'autres professeurs qui travaillent en intelligence artificielle : N. Cercone, V. Dahl, R. Hadley et J. Delgrande. Si on considère la totalité des travaux en intelligence artificielle, on peut dire qu'il s'agit ici d'un groupe jeune mais promis à un bel avenir.

Comme instruments, on y trouve deux VAX 750, de nombreux postes de travail SUN, un système de traitement d'images modèle 75 d'International Imaging Systems et deux postes de travail graphique IRIS. Le financement provient du CRSNG et du Conseil des sciences de la Colombie-Britannique.

Les travaux de vidéo-informatique du professeur Funt et de ses deux étudiants aux études supérieures concernent surtout l'analyse des balayages tomodensitométriques de billes de sciage afin d'en repérer les défauts qui pourraient diminuer la qualité du bois. On a réussi à mettre en oeuvre un programme informatique qui reconnaît les noeuds, la pourriture, les trous et les zones de bon bois à partir de ces images en recourant à la densité, à la texture et à la forme. Dans un deuxième projet, on s'intéresse à la perception par ordinateur des couleurs dans des scènes tridimensionnelles, et, dans un troisième, on étudie les zones spéculaires des images.

II) Références bibliographiques

1. Bryant, E., et Funt, B., Feature constraints for computer interpretation of CAT-scan images of logs, Compte rendu du Quatrième Congrès biennal de la Canadian Society for Computational Studies of Intelligence, Saskatoon, mai 1982.

2. Funt, B., Bryant, E., A computer vision system that analyses CT-scans of sawlogs, Compte rendu du Congrès de la IEEE sur la vidéo-informatique et la reconnaissance des formes, San Francisco, du 9 au 13 juin 1985.

3. Funt, B., Bryant, E., Toward automatic sawlog defect detection using computer tomography, Proceedings of Forintek Canada's Technical Seminar: Scanning Technology for the Eighties, Vancouver, 15 et 16 novembre 1984.

UNIVERSITÉ DE L'ALBERTA

Département de génie mécanique

Edmonton (Alberta)
T6G 2E5

Professeur R.W. Toogood
(403) 432-4712

I) Résumé

Depuis 1982, on effectue à ce Département des recherches en robotique. Le chercheur principal est le professeur Toogood qui dirige également trois étudiants en robotique des deuxième et troisième cycles. Les instruments qu'on y trouve servent surtout dans les cours de robotique du premier cycle; il s'agit de deux robots Movemaster de Mitsubishi couplés à des contrôleurs IBM-PC; les membres de ce Département ont également accès à l'ordinateur de l'Université (Amdahl 5860). Ces robots servent de bancs d'essai pour les langages évolués déjà élaborés, alors que l'ordinateur sert à la modélisation dynamique. Les recherches effectuées par les étudiants concernent les effets du désalignement des articulations sur le réglage précis de la vitesse et du positionnement de l'outil et sur des pinces de robot comme aides pour handicapés.

II) Références bibliographiques

Rien pour l'instant.

UNIVERSITÉ DE L'ALBERTA

Département de psychologie

Laboratoire de traitement d'images

Immeuble des sciences biologiques P220
Edmonton (Alberta)
T6G 2E9

Professeur T.M. Caelli
(403) 432-5330

I) Résumé

Les recherches connexes à la robotique ont lieu au Laboratoire de traitement d'images et de robotique et sont l'oeuvre du professeur T.M. Caelli. Instauré en 1983 par le professeur Caelli, ce Laboratoire, financé par le CRSNG, comprend les instruments de recherche suivants : un robot RB auquel on a ajouté un bras, la parole et un capteur ultrasonore, un système de traitement d'images ITI doté de périphériques et trois ordinateurs PDP-11/23.

Ce laboratoire est affilié aux départements de génie électrique et d'informatique. Le financement accordé par le Conseil national de recherches en sciences naturelles et en génie était de 63 000 $ en 1983, de 33 000 $ en 1984 et de 33 000 $ en 1985.

Le professeur Caelli est appuyé dans ses recherches par quatre étudiants aux études supérieures; il attend l'arrivée l'année prochaine de deux chercheurs de niveau post-doctoral. Les principales disciplines de recherche sont la coordination de l'oeil et de la main dans la manipulation des objets, l'élaboration de techniques de codage pour la détection d'images subissant des transformations et la reconnaissance de formes dans un milieu dynamique. Les personnes de ce groupe appliquent leurs connaissances de la vision de l'homme et de la vidéo-informatique à la robotvision.

II) Références bibliographiques

Le professeur Caelli a à son crédit 77 publications dont il est l'auteur ou le co-auteur. Comme la plupart de ces communications ont pour sujet la vision biologique, on a décidé de ne pas les inclure dans ce guide.

UNIVERSITÉ DE CALGARY

Département d'informatique

2500 University Drive, N.W.
Calgary (Alberta)
T2N 1N4

Professeur J.R. Parker
(403) 284-6015

I) Renseignements sur le cadre de recherche

Les recherches connexes à la robotique, menées au Département d'informatique, se déroulent depuis environ trois ans. Les instruments de recherche sont : un robot XR-2 Rhino, un numérateur vidéo et un ordinateur PDP-11/44. Les chercheurs ont également accès à deux VAX 11/780 et au super-ordinateur Cyber 205 de CDC. Le financement nécessaire à la recherche et à l'achat d'équipement provient de subventions, principalement celles du CRSNG, puisque ce Département n'offre aucun service contre rémunération.

Le chercheur principal est le professeur J.R. Parker qui s'intéresse à la vidéo-informatique et à son application à la robotique. En outre, trois assistants de recherche et un étudiant aux études supérieures mènent des recherches (W. Lee - analyse d'images, D. Stephen - commande de robot, D. Grant - systèmes d'exploitation).

Parmi les disciplines de recherche, mentionnons la vision appliquée à la commande de robots et la simulation informatique d'un système robot (simulation du XR-2 sur le VAX avec production d'images vidéo). Pour ce qui est de la commande en temps réel d'un robot à partir d'informations visuelles, la démarche est la suivante : le contrôleur de laboratoire Wicat tire l'information à partir de numériseurs vidéo, ou d'une entrée simulée, puis la communique au VAX qui l'utilise pour commander le robot XR-2.

Les principales réalisations à ce jour sont : l'élaboration d'un système de commande de robot et de simulation intégrée qui fournit en sortie des graphiques et l'élaboration d'une méthode d'extraction des caractères basée sur un gradient. Les logiciels qui ont été rédigés au cours de ces réalisations sont : un programme de génération d'images graphiques tridimensionnels, un programme d'animation informatique et un programme de commande et de simulation de robot.

II) Références bibliographiques

La majorité des communications produites traite de la simulation et de la conception de logiciels. En voici un échantillon :

1. Parker, J., Simulating a robot arm using graphics and animation, Congrès sur l'IA, le graphisme et la simulation, San Diego, janvier 1985.

2. Parker, J., Lee, W., and Stephen, D., A Simple Robot Arm Control Method, octobre 1984.

3. Parker, J., Gradient Following for Feature Extraction in Character images, (sous presse).

4. Parker, J., Grant, D., Experiment with a Vision-Driven Compiler, (sous presse).

UNIVERSITÉ DE LA SASKATCHEWAN

Département de génie électrique

Saskatoon (Saskatchewan)
S7N 0W0

Professeur H.C. Wood
(306) 966-5379

I) Renseignements sur le cadre de recherche

Les recherches en robotique sont effectuées au Département de génie électrique, à celui d'informatique et à celui de génie mécanique. En outre, les divisions du génie des procédés et du génie biomédical du Collège du génie travaillent en robotique.

Les instruments propres à la recherche en robotique qu'on y trouve sont : deux VAX 11/780 et un ordinateur 1160 DEC, différents micro-ordinateurs, une tour à commande numérique automatisée, un bras d'apprentissage, un robot mobile élaboré sur place et un système de vision. Le système de vision a pu être acheté grâce à une subvention de 6000 $ de Northern Telecom; pour le financement proprement dit, on a déposé une demande de subvention de 125 000 $ au ministère de la Science et de la Technologie de la Saskatchewan.

II) Renseignements sur le personnel

Chercheurs principaux :

Prof. R. Burton - actionneurs hydrauliques, servocommande.
Prof. M. Gupta - systèmes de commande (notamment les contrôleurs "flou").
Prof. K. Takaya - interface homme-machine, myoélectricité biomédicale.
Prof. J. Wilson - automatisation de l'exploitation minière de l'agriculture.
Prof. M. Wood - commandes électroniques et informatiques, capteurs, vision.

III) Activités de recherche

Les disciplines de recherche abordées sont : les systèmes de commande hydrauliques et électriques, la simulation, l'élaboration de capteurs, la vision et la recherche d'applications en agriculture et en exploitation minière. Les principaux objectifs de recherche ressortissent à l'exploitation minière et à l'agriculture. Est particulièrement visée l'élimination des risques éventuels d'accidents dans l'exploitation de l'uranium et de la potasse en vue d'accroître la productivité.

Le Collège du génie a signé un accord de coopération pour des projets de recherche et de développement avec Horizon Robotics de Saskatoon, particulièrement les projets liés à l'exploitation minière. Les chercheurs de ce groupe

coopèrent également avec le ministère de la Science et de la Technologie de la Saskatchewan, le Conseil de la recherche de la Saskatchewan, le ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan et le Département de réadaptation de l'Université de la Saskatchewan.

Plusieurs étudiants des deuxième et troisième cycles travaillent à des projets reliés à la robotique, et les résultats de certains ont déjà été publiés.

Les principales réalisations à ce jour sont : les travaux sur la mesure et la commande de la position d'un actionneur hydraulique, l'élaboration d'une interface de vision avec un ordinateur, l'automatisation de certaines machines d'exploitation minière et d'équipements agricoles et la construction d'un robot mobile doté de deux bras, d'une voix sonique, d'une télécommande et de bras et de mains myoélectriques.

IV) Références bibliographiques

Rien pour le moment.

UNIVERSITÉ DU MANITOBA

Département de génie mécanique et de génie industriel

Laboratoire d'automatisation et de simulation industrielle

Winnipeg (Manitoba)
R3T 2N2

Professeur O. Hawaleshka
(204) 474-9535

I) Renseignements sur le cadre de recherche

Le Laboratoire d'automatisation et de simulation industrielle est l'un des deux laboratoires de cette Université (l'autre est le Laboratoire d'intégration de la fabrication) où sont effectuées des recherches en robotique. Instauré en septembre 1982, il est destiné surtout à la production intégrée en petite série. Ce Laboratoire est affilié aux Départements de génie mécanique, de génie industriel, de génie électrique et d'informatique et au Centre des applications industrielles de la microélectronique de Winnipeg. Nos principaux projets sont : un agrandissement des installations du Laboratoire, une coopération avec le Centre de technologie industrielle (Manitoba) et une collaboration au sujet de l'enseignement permanent et de la formation industrielle avec l'Institut d'enseignement de Winnipeg Sud.

Provenance du financement et sommes versées

Université du Manitoba - budget d'exploitation	260 000 $	par année
Province du Manitoba (Université du Manitoba) - immobilisations	238 000 $	1982-1984
Province du Manitoba - équipement ITC	65 000 $	1985
Conseil national de recherches - équipement	125 000 $	1984
ASEA (robots) Ltd. - équipement	35 000 $	1984

II) Renseignements sur le personnel

Chercheurs principaux :

Prof. S. Balakrishnan	Professeur adjoint (génie mécanique et génie industriel)	intégration de la fabrication
Prof. W.L. Cleghorn	Professeur adjoint (génie mécanique)	dynamique, cinématique

Prof. A. De Groot	Professeur adjoint (génie mécanique et génie industriel)	capteurs, commande
Prof. O. Hawaleshka	Chef, professeur associé (génie mécanique et génie industriel)	simulation informatique et graphique, transfert de technologie
Prof. A. Kusiak	Professeur associé (génie mécanique et génie industriel)	optimisation, commande
Prof. S. Onyshko	Professeur associé (génie électrique)	systèmes de vision
Prof. E. Shwedyk	Professeur associé (professeur associé)	systèmes d'information

En plus, ce Laboratoire emploie un technicien à temps plein, et son personnel dirige les études de deux candidats au doctorat et de six étudiants en maîtrise.

III) Activités de recherche

Le groupe du génie industriel concentre surtout ses activités de recherche dans l'importante discipline de l'amélioration de la productivité au moyen du contrôle de la fabrication et de la production, de l'automatisation et du transfert de technologie connexe. L'accent est surtout mis sur la découverte d'applications propres aux petites et moyennes entreprise surtout celles s'occupant de l'agriculture, de la fabrication d'appareils et de meubles, de la distribution et de l'entreposage. Jamais les applications des micro-ordinateurs et des machines graphiques ne sont oubliées. Voici les principales disciplines de recherche abordées :

1. L'élaboration d'un centre de fabrication flexible intégré comprenant de la machinerie de fabrication, des robots et des systèmes de contrôle de la qualité et de recherche et de mémorisation automatisées. La commande de procédés (modélisation et mise en oeuvre de modèles de commande) au moyen de capteurs de réaction dans un atelier flexible type, l'élaboration de langages de programmation évolués pour la fabrication de pièces au moyen de la commande numérique automatisée, la dynamique des robots et la synthèse de la commande des bras de manipulateurs.
2. L'optimisation des capteurs tactiles destinés aux organes terminaux de robots, le traitement intégral des données tactiles au moyen d'un circuit VLSI sur plaquette pour permettre la communication directe

des commandes au robot, la réduction du temps consacré au calcul et l'amélioration des vitesses de fonctionnement du robot, et cela dans un milieu de production et de fabrication flexible.

3. La rédaction d'un logiciel de commande de production à l'intention d'industries particulières, y compris l'élaboration des bases de données appropriées.
4. La simulation infographique de procédés de fabrication et de production intervenant en usinage des métaux et en fabrication de vêtements, et la rédaction du logiciel de commande ASRS (systèmes de stockage et de recherche automatisés).
5. La simulation infographique de la dispersion de substances dangereuses dans des conditions environnementales hostiles; cette technique devrait aider à mettre au point des stratégies de décision dans les situations de planification d'urgence.
6. Un simulateur infographique utilisé comme support à la décision dans les cas de transport, de programmation et de répartition, y compris la communication de l'acheminement optimal conditionné par les limitations de déplacement.
7. La recherche des meilleurs moyens de transférer des technologies de commande automatisées et intégrées aux industries utilisatrices cibles.

Le professeur Hawaleshka s'intéresse aux domaines suivants : la simulation infographique d'un système de production, la manipulation automatisée de matériaux, la simulation de systèmes de stockage automatisés, la simulation de systèmes de fabrication flexible et le transfert de technologie. Le professeur Balakrishnan s'occupe de la fabrication automatisée, de la commande adaptative des robots, de l'optimisation du déplacement des robots et des centres de production flexible. Le professeur De Groot s'occupe de l'élaboration de capteurs et de la commande de robots. Le professeur Cleghorn se préoccupe de la cinématique et de la dynamique des robots et de l'optimalisation des trajectoires d'articulations de manipulateur basée sur les contraintes cinématiques et dynamiques. Le professeur Onyshko se préoccupe des systèmes de vision, de la commande de robots et de la coordination des robots avec des machines à commande numérique. En dernier lieu, le domaine d'intérêt du professeur Shwedyk est l'étude des systèmes d'information.

Ce groupe de recherche coopère avec le centre de technologie industriel du Manitoba, des fabricants d'instruments agricoles et des fabricants d'appareils.

L'élaboration d'une fonction de commande hors ligne pour les robots industriels et les systèmes de production, qui utilise des micro-ordinateurs, est la principale réalisation du Laboratoire de simulation et d'automatisation industrielle.

Dans le domaine des logiciels, ce groupe a rédigé les programmes de commande hors ligne des robots ASEA et Teachmover, exécutés sur IBM-PC.

IV) Références bibliographiques

1. Hawaleshka, O., et autres., Ten Years After: The experience with a robot (1972-1982), Compte rendu du Congrès APICS, Nouvelle-Orléans, 1983.

2. Hawaleshka, O., Kumar V., Robotics in Industrial Engineering.

3. Hawaleshka, O., Development of a Small-Scale Flexible Manufacturing Cell.

4. Hawaleshka, O., Balakrishnan S., A. de Grott, et autres., Microcomputers in a New Manufacturing-Control Oriented IE Program.

5. Hawaleshka, O., Balakrishnan S., Affordable Manufacturing Integration, Huitième Congrès d'automatisation de la production, Stuttgart, 1985.

6. Johnson, K., Simulation of continuous path motion using a point-to-point robot.

7. Podhoreski, R.P., Cleghorn W.L., Direct Joint Variable Solution of Redundant Manipulators, Tenth CANCAM, 1985.

8. Wolfe, O.B., Robotics Laboratory Manual, Université du Manitoba, Laboratoire de génie industriel, 1983.

UNIVERSITÉ CARLETON

Département de génie mécanique et de génie aéronautique

Laboratoire de robotique et des systèmes de commande

Ottawa (Ontario)
K1S 5B6

Professeur J.Z. Sasiadek
(613) 231-2634

I) Renseignements sur le cadre de recherche

Instauré en septembre 1983, le Laboratoire de robotique et des systèmes de commande possède les équipements de recherche que voici : deux robots Rhino et leurs accessoires, deux micro-ordinateurs Hyperion, un contrôleur programmable, un PDP-11, une machine à commande numérique EMCO et différents actionneurs hydrauliques. On se propose de faire l'acquisition d'un ordinateur robot PUMA 560 comprenant un système de vision.

Le financement du Laboratoire est garanti principalement par des subventions de fonctionnement du CRSNG (60 000 $ de 1984 à 1987), et par quelques contrats de recherche avec Spar Aerospace et les recherches Bell-Northern.

II) Renseignements sur le personnel

Chercheurs principaux :

Prof. G. Kardos	Professeur (génie mécanique)	cinématique
Prof. J.Z. Sasiadek	Professeur (génie mécanique)	systèmes de commande, robotique

De plus, ce Laboratoire emploie un technicien à temps plein, et ses membres dirigent quatre étudiants des deuxième et troisième cycles.

III) Activités de recherche

Les chercheurs de ce Laboratoire se proposent, en premier lieu, d'élaborer des systèmes de commande sophistiqués pour les robots. Pour ce faire, ils s'occupent des domaines suivants : commande adaptative de bras souples et contrôle stochastique. La reconnaissance des formes est également une discipline de recherche importante.

Les logiciels rédigés sont : ADA destiné à la commande de la position d'un robot et LATHE, servant durant la fabrication de différentes pièces par une machine à commande numérique.

IV) Références bibliographiques

1. Sasiadek, J.Z., Designing control systems for robots using expert systems, Actes du Sixième Congrès international de robotique et d'automatisation, Santa Barbara, mai 1985.

2. Sasiadek, J.Z., Designing kinematics and dynamics of robot using expert system, Compte rendu du Congrès sur la FAO/CAO et la robotique, Toronto, juin 1985.

UNIVERSITÉ CARLETON

École d'informatique

Ottawa (Ontario)
K1S 5B6

Professeur J. Oommen
(613) 231-7545

I) Résumé

Assez récente, l'École d'informatique de l'Université Carleton offre un programme de maîtrise conjoint avec l'Université d'Ottawa et propose actuellement un programme de doctorat. Cette École a les équipements suivants : un ordinateur Honeywell, un système INTEL, une machine Lisp, un SUN et divers microprocesseurs. Le financement provient principalement du CRNSG à raison de 110 000 $ par année. Cette École est appelée à prendre de l'expansion et a déjà ouvert d'autres postes de professeurs.

Elle compte actuellement douze professeurs (le directeur de l'École est F. Fiala) dont six qui s'intéressent à l'intelligence artificielle : W.R. Lalonde, J. Nielson, J. Oommen, F. Oppacher, D. Thomans et J.-R. Sack. Parmi eux, il y en a deux qui s'occupent plus particulièrement de robotique : J. Oommen et J.-R. Sack. Au surplus, l'École emploie deux ingénieurs logiciels.

Les principales avenues de recherche des professeurs de cette École sont : la conception d'algorithmes rapides pour la gestion de déplacement d'objets en présence d'obstacles, la conception d'algorithmes imposant un ordre de priorité au problème du déplacement, la conception de langages de programmation de robots orientés vers les objets, et la conception d'algorithmes stochastiques pour la détermination de trajets.

Parmi sa clientèle, l'École compte INTEL, les recherches Bell-Northern et DY-4 Systems.

II) Références bibliographiques

L'École d'informatique a à son crédit environ soixante-six publications. Comme aucune de celles-ci ne traite de la robotique ou de la vidéo-informatique, on ne les cite pas dans le présent guide.

UNIVERSITÉ CARLETON

Centre d'études supérieures en conception et en génie
assisté par ordinateur (CASCADE)

Ottawa (Ontario)
K1S 5B6

Professeur J.A. Goldak
(613) 231-3627

I) Renseignements sur le cadre de recherche

Le Centre d'études supérieures en conception et en génie assisté par ordinateur a été constitué à la fin de 1982 à la suite d'une demande de subvention, faite par John Goldak et Neal Holtz (Directeur - CASCADE) auprès du Conseil d'orientation et de développement industriel du gouvernement de l'Ontario en vue d'obtenir des postes de travail techniques. C'est alors qu'on a réalisé que les départements de génie mécanique, de génie aéronautique, de génie électronique, de génie civil et les écoles de conception industrielle et de gestion des affaires partageaient les mêmes intérêts pour certaines recherches. CASCADE a donc été proposé comme organe de gestion de la subvention du Conseil et comme centre à l'Université Carleton où seront effectuées des recherches dans le domaine vital, pour le Canada, de la conception et de la fabrication automatisées et intégrées. Plus particulièrement, CASCADE veut jouer le rôle de catalyseur afin de réunir tous les experts des disciplines pertinentes de l'Université dans le but de définir les objectifs de recherche communs, d'organiser la recherche et de remplir les demandes de financement.

Le Centre d'études supérieures en conception et en génie assisté par ordinateur (CASCADE) se voue au perfectionnement de la conception et de la fabrication intégrées et automatisées par l'intermédiaire de la recherche et de l'enseignement surtout dans trois domaines principaux.

- Génie civil et génie mécanique - CAO/FAO et sciences du bâtiment
- Électronique - Conception et analyse de plaquettes de circuits imprimés et de VLSI
- Informatique servant à la fabrication et à la conception intégrées et automatisées - Bases de données, interaction homme-machine, outils de rédaction de logiciels.

Le Centre fait donc l'acquisition, la mise en oeuvre et l'évaluation de progiciels de conception et de fabrication intégrées et automatisées propres à ces domaines, afin de développer, parmi son personnel, des personnes suffisamment compétentes pour les utiliser. L'organisation de ces programmes pour constituer des progiciels intégrés et d'emploi facile est la principale tâche des chercheurs du Centre. CASCADE a comme principe de faire l'acquisition de

logiciels lorsque c'est possible; toutefois, dans certaines disciplines importantes, les chercheurs du Centre rédigent eux-mêmes les logiciels. Par exemple, un programme d'analyse non linéaire aux éléments finis est actuellement en cours de rédaction parce que les programmes "boîte noire" sur le marché ont été jugés inaptes à la recherche et à l'enseignement. Outre l'acquisition de ces programmes, le Centre veut aménager le meilleur environnement possible pour la rédaction de logiciels en fournissant des bases de données relationnelles, des programmes infographiques GKS, des messages au secours, de la documentation et des menus.

En bref, le Centre veut créer un milieu propice au traitement de problèmes réels grâce à l'utilisation et à l'élaboration de systèmes de fabrication et de conception intégrées et automatisées. Pour ce faire, il cherche à regrouper les éléments essentiels : le matériel, le logiciel et les personnes compétentes.

Il y a onze chercheurs principaux, tous professeurs, qui proviennent de différentes spécialisations (autres que la robotique) et qui dirigent environ quarante étudiants des deuxième et troisième cycles. Les principaux domaines de recherche abordés sont les suivants :

- Bases de données pour la fabrication et la conception intégrées et automatisées avec vérification de cohérence et gestion de l'intégrité.
- Interaction homme-machine : par exemple, graphiques, menus, messages au secours, etc.
- Élaboration de programmes d'application dans des domaines choisis.
- Utilisation de logiciels d'application : par exemple PADL-2, IMP ou SPICE.

Aucune recherche en robotique n'est vraiment réalisée au Centre; sa principale contribution à la robotique consiste à mettre à la disposition des chercheurs des progiciels. Voici ceux qui peuvent servir à la robotique :

PADL-2 :

Il s'agit ici d'un modélisateur de volumes solides mis en oeuvre en juillet 1983 et faisant actuellement l'objet d'une intégration dans le système des logiciels de fabrication et de conception intégrées et automatisées. Un modélisateur de volumes solides a la possibilité de garantir qu'un composant est "réalisable". Autre aspect à ne pas négliger est la présence dans ce progiciel d'une base de données structurée pour les systèmes à multicomposants. Les composants sont créés par "addition" ou "soustraction" de volumes solides élémentaires comme des blocs, des bordures, des plans, des cylindres, des sphères ou des toroïdes. Il peut également afficher des scènes en couleur ombragées avec effacement des lignes cachées. Ce programme peut calculer le volume, le poids, le centre de gravité et le moment d'inertie. Ces modèles de volumes jouent par la suite le rôle de préprocesseurs pour l'analyse aux éléments finis. Ces modèles peuvent être "assemblés". Rochester travaille

actuellement à l'élaboration des caractères pour l'établissement des tolérances, de la finition de la surface, de la texture et des filets.

IMP :

Il s'agit ici d'un programme d'analyse dynamique ou cinématique de mécanismes comme des liaisons et des machines. Il prend en considération les contraintes cinématiques, le mouvement prescrit, les constantes de rappel, les facteurs d'amortissement et les forces précisées. Le bras spatial a été modélisé en recourant à cette solution. Programme particulièrement utile pour obtenir les sollicitations sur les composants nécessaires à l'analyse aux éléments finis des contraintes et des flexions de ces composants.

II) Références bibliographiques

Aucune publication touchant la robotique pour le moment.

UNIVERSITÉ McMASTER

Faculté de génie

Centre de recherche et de développement
en fabrication flexible

1280 Main St. W.
Hamilton (Ontario)
L8S 4L7

Professeur H.A. ElMaraghy
(416) 525-9140
Télex : 061-8347

I) Renseignements sur le cadre de recherche

Ce sont les départements de génie mécanique et de génie électrique qui effectuent les recherches connexes à la robotique à l'Université McMaster. D'ailleurs la plupart des équipements expérimentaux nécessaires à une telle recherche se trouvent dans les laboratoires du Département de génie mécanique. Ces équipements sont : un robot Unimate 2000, un robot Puma 600 et un robot de transfert Seiko. (Le robot Unimate 2000 a été remanié afin de posséder une commande et des entraînements à courant continu.) Outre ces trois robots, le Laboratoire est muni : d'une fraiseuse à commande numérique TOS remise à niveau, de micro-ordinateurs, de dynamomètres, de sondes de proximité, d'un système laser et d'un interféromètre laser servant à déterminer la précision des machines.

II) Renseignements sur le personnel

Chercheurs principaux :

Dr D. Capson	Professeur adjoint	Génie électrique
Dr H.A. ElMaraghy	Professeur associé, (directeur du Centre)	Génie mécanique
Dr D. Ghista	Professeur	Génie biomédical
Dr R. Kitai	Professeur	Génie électrique
Prof. W.R. Newcombe	Professeur	Génie mécanique
Dr N. Sinha	Professeur	Génie électrique
Dr I. Yellowley	Professeur associé	Génie mécanique

III) Activités de recherche

L'Université McMaster procède actuellement à la mise sur pied d'un centre de recherche et de développement en fabrication flexible qui s'occupera des opérations d'assemblage flexible, notamment celles faites avec des robots. Ce Centre a pour objectif de mener des recherches sur les problèmes de la fabrication flexible, de trouver des solutions aux problèmes en fabrication flexible qu'éprouve l'industrie, de former des personnes compétentes, de constituer une installation d'essai pour les projets originaux et de mettre au point un mécanisme de transfert de technologie. Le gouvernement fédéral a fourni en août 1984, à même le fonds pour centres de spécialisation, une subvention d'une année de 500 000 $ pour aider à la création de ce Centre.

Présentement, on en est à l'étape de planification du Centre. La rénovation des locaux attribués au Centre commencera en avril 1985. La majeure partie de la subvention de 500 000 $ servira à l'achat de matériel; toutefois, une partie de ce montant est réservée à l'achat d'équipements connexes à la robotique. Ce Centre devrait être en exploitation au début du second semestre de 1985.

Les chercheurs de cette Université collaborent étroitement avec la Canadian Institute of Metalworking (1276 Sandhill Drive, Ancaster, Ont. L9G 3N6).

Les préoccupations en matière de recherche couvrent une large gamme d'applications des robots comme l'élaboration de capteurs, la conception de pinces, la cinématique, la programmation hors ligne, la commande adaptative en temps réel, la vidéo-informatique, la reconnaissance de la parole et l'intelligence artificielle. Les opérations d'assemblage par robot, l'inspection et les traitements comme le soudage, l'ébarbage, le polissage, l'alimentation des machines, le pistage des objets et l'intégration des systèmes suscitent un intérêt considérable.

Certains travaux qui occupent actuellement les professeurs Capson et Kitai concernent l'élaboration du matériel et du logiciel d'un système de robotvision destiné à la reconnaissance et à la localisation des silhouettes. On a élaboré un système de vision binaire relié au robot Puma 600 qui rend possibles des opérations de tri. L'inspection des joints de soudure des plaquettes de circuits imprimés et le pistage d'objets en mouvement à l'aide d'un système de vision rapide sont d'autres projets envisagés actuellement.

Le professeur Sinha s'occupe de développer des systèmes de commande de robot pour le soudage et d'autres applications. Un autre domaine qui l'intéresse est la reconnaissance de la parole à l'intention des robots. Cinq étudiants des deuxième et troisième cycles travaillent au Département de génie électrique à des projets reliés à la robotique. Les résultats de la plupart des recherches effectuées ici ont été publiés dans des comptes rendus de congrès et des revues.

La discipline de recherche du professeur ElMaraghy est l'étude des systèmes experts en robotique destinés à la planification des tâches, à la programmation hors ligne, à la coordination oeil-main et à la commande en temps réel au moyen de capteurs. Par ailleurs, le professeur Yellowley s'intéresse

principalement à la fabrication et à l'automatisation, notamment à la simulation et à la modélisation d'opérations et d'applications de robotique pour le soudage, le meulage, le polissage, l'ébarbage, l'alimentation de machines, leur déchargement et le changement d'outils. On a également développé la planification du mouvement en recourant à l'interpolation circulaire et polynomiale. Sept étudiants des deuxième et troisième cycles travaillent en robotique au Département de génie électrique. La plupart des recherches dans cette discipline sont récentes et n'ont pas encore fait l'objet de publications.

À ce Centre, la recherche a comme principal objectif de développer des applications pratiques pour des robots faisant partie d'un système intégré. À ce jour, les principales réalisations sont l'élaboration d'un système de vision binaire, la rédaction des logiciels et d'algorithmes pour la programmation, le contrôle et la modélisation de robots et la mise au niveau de robots.

IV) Références bibliographiques

1. Capson, D., Pena, M. et Kitai, R., A Silhouette vision system for robots, Compte rendu du Congrès canadien sur la robotique, pp. 73-84, septembre 1982.

2. Capson, D., Kitai, R., Silhouette area and centroid measurement using a CID camera and an 8086 Microcomputer, compte rendu de congrès.

3. Capson, D.W., An improved algorithm for the sequential extraction of boundaries from a roster scan, Computer Vision, Graphics and Image Processing, 28, pp. 109-125, 1984.

UNIVERSITÉ QUEEN'S

Laboratoire de robotique de l'Université Queen's

Kingston (Ontario)
K7L 3N6

Professeur M.M. Bayoumi
(613) 547-2878

I) Renseignements sur le cadre de recherche

A l'Université Queen's, les recherches en robotique sont l'oeuvre principalement du Laboratoire de robotique. Ce Laboratoire a été mis sur pied en 1983, à la suite d'un travail sur la commande adaptative et la simulation robotique effectuée par le Département de génie électrique en 1980. Les développements ultérieurs ont amené la participation de chercheurs provenant des départements d'informatique, de psychologie et de génie mécanique.

L'équipement dont dispose ce Laboratoire est le suivant : un robot PUMA 550, un panneau tactile Sensoflex, un système de télémesure ultrasonique, un photocommutateur à fibre OMRON et des tampons d'ordinateur Matrox and Norpack. Comme organes de calcul on y trouve : un VAX 11/780 et un PDP-11/23, une machine Lisp symbolique 3600, un poste de travail National 32016, trois systèmes Intel 310, un affichage graphique AED-767 et un processeur matriciel Wertek.

Ce laboratoire a comme sources de financement le CRSNG, par l'intermédiaire de ses subventions d'exploitation et PRAI, Santé et Bien-être social Canada, le CLDI, Alcan et Intel.

II) Renseignements sur le personnel

Chercheurs principaux :

M.M. Bayoumi	Directeur, professeur	Génie électrique
R. Browse	Professeur adjoint	Informatique
J. Jeswiet	Professeur associé	Génie mécanique
J. Kulick	Professeur adjoint	Informatique
S. Lederman	Professeur associé	Psychologie
G. MacEwen	Professeur	Informatique
T. Moore	Professeur adjoint	Génie mécanique

En outre sont associés au Laboratoire deux techniciens et dix-neuf étudiants aux études supérieures : dix en informatique, cinq en génie électrique, deux en génie mécanique et deux en psychologie.

III) Activités de recherche

Les principaux objectifs des travaux effectués au Laboratoire de robotique sont la perception de robots à plusieurs capteurs, les milieux de

logiciels intégrés pour la robotique et les systèmes de planification et de contrôle.

Les disciplines de recherche sont les suivants : perception et touches informatiques (Browse), développement de capteurs et de pinces (Moore, Bayoumi), logiciels à temps réel (McEwan), langages de robotique évolués (McEwan), perception tactile (Lederman), inspection industrielle (Bayoumi), commande adaptative (Bayoumi), modélisation dynamique et commande (Bayoumi) et prévention des collisions (Bayoumi).

Traitement d'images et perception informatique

La recherche sur le traitement d'images et la perception informatique, effectuée à l'Université Queen's, englobe une large variété de sujets particuliers étudiés aux départements d'informatique, de génie électrique et de psychologie. Bien que ces disciplines répondent à des motifs divers, le besoin d'une base informatique commune pour l'analyse du processus de perception a amené plusieurs chercheurs de disciplines, en apparence isolées comme la robotique en temps réel et la modélisation psychologique, à mettre en commun leurs ressources. Des indices indiquent que ce genre de décloisonnement est appelé à se répandre dans un proche avenir. Le début de la construction, cette année, d'un nouveau centre de technologie sur le campus devrait avoir pour effet de rapprocher les chercheurs en robotique, en traitement d'images et en intelligence artificielle. Récemment, un programme de baccalauréat spécialisé en sciences de la connaissance a été instauré, et on s'attend à ce que se forme prochainement un groupe de sciences de la connaissance et de robotique en mesure d'élaborer des programmes d'études interdisciplinaires des deuxième et troisième cycles.

Les objectifs de ce projet sont d'élaborer des techniques efficaces de représentation et d'application des connaissances des objets, pour en arriver à leur interprétation visuelle. Il existe déjà des systèmes de vidéo-informatique qui réussissent à choisir à partir d'un raisonnement intelligent les emplacements de traitement d'images correspondant à l'état des opérations d'interprétation, à établir une interaction entre des interprétations à partir de différents niveaux de résolution et à créer des relations entre les contraintes de modèles géométriques abstraits des objets et les contraintes inhérentes à l'information de l'image. Des versions informatiques des théories psychologiques de la perception et de l'interprétation visuelles ont été réalisées. Le personnel du Laboratoire mène une expérience permanente à l'aide de sujets humains dans le but de mieux comprendre les processus de vision et de perfectionner son modèle informatique.

Ces recherches visent à bâtir la fondation théorique propre à l'élaboration de robots en mesure de comprendre leur milieu et de modifier leurs actions en fonction de ce qui les entoure. Pour ce faire, il faut d'abord traiter la perception tactile et organiser l'information kinesthétique. L'objectif à long terme est de permettre l'intégration des informations extéroceptives, notamment la vision, en utilisant des représentations de modèles

d'objets unifiés. Un logiciel a déjà été rédigé pour conduire un dispositif tactile en mesure de communiquer un profil de pression 16 x 16 sur un pouce carré de surface. Des techniques de traitement d'images et de restitution de surface ont été adaptées afin de fonctionner à partir de ces images de pression. Un système capable de reconnaître les objets et leur position à partir des propriétés extraites des images tactiles a été mis au point. On a effectué des expériences sur des sujets humains qui indiquent la disponibilité et l'utilité des caractères tactiles. Ces résultats sont étudiés actuellement dans des extensions du système tactile informatique. On a créé des modèles informatiques qui représentent les contraintes imposées à l'objet, contraintes déterminées par la prise de l'organe terminal.

Une démarche expérimentale correspondante avec des sujets humains est également en cours. L'organisation de la perception dans le sens de la vue peut être considérée comme le processus d'explicitation de certains rapports ou régularités parmi des propriétés d'images. L'interprétation ultérieure peut permettre l'explication de ces rapports. Les questions théoriques générales qui sont traitées font appel à la nature des processus et des règles présidant à l'organisation des images et à la nature des représentations (ou des descriptions) résultantes. L'aspect principal de ce projet concerne l'expérimentation avec des sujets humains en vue de définir les propriétés mathématiques de la perception globale. Le but visé est l'élaboration d'une correspondance entre ces descriptions calculées et les contraintes imposées à l'interprétation des phénomènes.

Récemment, ALCAN International lançait un projet sur l'élaboration de techniques informatiques pour l'analyse des microphotographies d'alliages d'aluminium. Pour le moment, un analyste de microscopie expérimenté doit examiner chaque image et décider du prochain traitement de l'alliage (trempe, laminage,...). La description mathématique des images qui permettra l'automatisation du traitement est en cours. L'objectif à long terme est d'obtenir les descriptions fondamentales qui manifestent une correspondance directe avec les propriétés mécaniques des matériaux. Les images sont traitées par une caméra légère montée sur un bras de robot PUMA-550. On y tire ensuite des propriétés géométriques, notamment le centre de gravité et les moments d'inertie par rapport à l'axe principal. Cette information est par la suite traitée au moyen d'algorithmes de pistage différents y compris celui reposant sur un filtre de Kalman. Ce projet vise, entre autres, à intégrer les résultats du traitement d'images avec le mouvement d'un bras de robot afin de réaliser le pistage.

Projets de recherche

Caractéristiques superficielles tirées de données tactiles

Au moyen du détecteur tactile prototype de Barry Wright Corp. (Sensoflex Tactile System), on travaille à l'élaboration de méthodes de restitution des informations superficielles à partir d'une matrice de 16 x 16 x 8 bits représentant un profil de pression sur un pouce carré. Le mélange des

facteurs contribuant à ce profil de pression est analogue à celui des facteurs que l'on trouve dans l'équation de formation d'images (Horn, 1977) de la vidéo-informatique. Après un essai et un étalonnage initiaux, le système tactile sera fixé à un PUMA-550 du Laboratoire de robotique du Département de génie électrique.

R. Browse (informatique et psychologie)
S. Lederman (psychologie)
S. Ulug (informatique) (étudiant aux études supérieures)

Modèles informatiques d'intégration des éléments détectés

Le but de ce projet est d'élaborer des techniques de représentation cognitive d'un objet, en mesure de composer avec les contraintes aussi bien visuelles, proprioceptives (position de l'articulation) que tactiles. Il s'agit ici de résoudre les problèmes d'un robot multimodèle actif dans un environnement de planification dynamique. Des expériences avec des sujets humains sont également en cours.

S. Lederman (psychologie)
R. Browse (informatique et psychologie)
B. Jones (psychologie : Université Carleton)
J. Rodger (informatique) (étudiant aux études supérieures)

Les caractères intervenant dans la perception tactile de l'homme

Les techniques auxquelles ont eu recours Treisman et Gelade, 1980, durant leur expérimentation de la théorie d'intégration des caractères, sont actuellement développées pour examiner les caractères basés sur le sens tactile. Un objectif important de ce travail est de déterminer l'indépendance (Garner, 1978) et l'utilité de caractères comme la rugosité, la température, l'orientation et l'échelle afin de jeter les bases d'un modèle informatique de la perception tactile qui sera éventuellement appliqué au robot.

S. Lederman (psychologie)
R. Browse (informatique et psychologie)

Le parallèlisme en perception

Dans ce projet, on tente de reconnaître la nature du parallelisme qui intervient dans les principales théories psychologiques de la perception. Ces variantes du parallélisme sont comparées aux modèles proposés dans la documentation sur l'intelligence artificielle (comme ceux de Ballard et Feldman, 1982; Fahlman, 1979). Aussi, on examine la possibilité de leur implantation dans du matériel de traitement parallèle spécialisé.

R. Browse (informatique et psychologie)
S. Lederman (psychologie)
R. Van Veen (génie électrique) (étudiant aux études supérieures)

(titre non communiqué)

Dans ce projet, on étudie les capacités et les stratégies mises en jeu

par un homme lorsqu'il identifie des objets tridimensionnels au moyen de la préhension. L'objectif est de représenter les actions intervenant dans l'interprétation tactile à l'intérieur d'un repère de coordonnées liées au corps afin d'élaborer un modèle informatique de ce comportement.

S. Lederman (psychologie)
R. Browse (informatique et psychologie)
R. Klatzky (psychologie : Université de la Californie à Santa Barbara)
L. Lambert (psychologie) (étudiant aux études supérieures)

Systèmes de commande à l'intention de robots en mesure de saisir des données extéroceptives

Ce projet gravite autour de l'élaboration d'un contrôleur, destiné au PUMA-550, en mesure d'intégrer des informations extéroceptives grandement structurées. Ce système comprendra le logiciel servant à définir l'utilisation, pour des tâches particulières, de l'information extéroceptive.

M. Bayomi (génie électrique)
R. Browse (informatique et psychologie)
B. Mack (génie électrique) (étudiant aux études supérieures)

Perception tactile de la texture par l'homme

On a élaboré un modèle sensoriel de la perception tactile d'une texture superficielle par l'homme, et on l'a éprouvé expérimentalement au moyen de méthodes psychophysiques.

S. Lederman (psychologie)
J. Loomis (psychologie : Université de la Californie à Santa Barbara)

Langages de programmation pour l'intelligence artificielle, la robotique et la vidéo-informatique

Les langages de programmation pour l'intelligence artificielle de la prochaine génération devront composer avec les exigences inhabituelles qu'auront les robots dotés de la détection multimodale et de la fonction de planification dynamique. En particulier, les logiciels devront pouvoir exprimer en même temps un parallèlisme "spatial" et l'induction logique. C'est pour répondre à ces besoins futurs que l'on expérimente le langage NIAL (Jenkins, 1983) et ses développements, notamment les fonctions de programmation logiques. La primitive à tableaux et le fondement mathématique rigoureux de ce langage font de ce dernier un des candidats de choix pour la programmation de robots (voir Glasgow et Browse, 1984).

M. Jenkins (informatique)
J. Glasgow (informatique)
R. Browse (informatique et psychologie)
N. Cercone (informatique : Université Simon Fraser)
C. McCrosky (génie électrique et informatique) (étudiant aux études supérieures)
E. Blevis (informatique) (étudiant aux études supérieures)

Compromis entre contraintes basées sur l'image et contraintes basées sur l'objet

Des mécanismes de commande de systèmes de vidéo-informatique ont été imaginés afin d'obtenir un compromis entre les contraintes imposées par le traitement d'une classe particulière d'objets et celles inhérentes à l'image et dues à des hypothèses générales au sujet des conditions de visualisation et des propriétés superficielles. Les expériences effectuées avec la première version mise en oeuvre démontrent une certaine aptitude à traiter une gamme importante de conditions de visualisation.

R. Browse (informatique et psychologie)
R. Gurnsey (informatique et psychologie) (étudiant aux études supérieures)

Traitement tactile de configurations bidimensionnelles

Il s'agit ici d'études conçues pour comprendre la perception tactile de configurations spatiales de petite échelle, comme des cartes et des images en relief. Les erreurs systématiques de l'appréciation de l'espace reflètent les stratégies humaines et du même coup suggèrent la réalisation de graphiques tactiles pour les handicapés visuels.

S. Lederman (psychologie)
R. Klatzky (psychologie : Université de la Californie à Santa Barbara)
P. Barber (psychologie) (étudiant aux études supérieures)

IV) Références bibliographiques

Parmi les publications concernant la recherche en robotique, il y a trois mémoires de maîtrise, huit articles déjà cités et cinq communications soumises. Voici un échantillon de ces travaux :

1. Bayoumi, M.M., Chan R.T.F. Model following control of manipulators, publication acceptée dans Digital Systems for Industrial Automation.

2. Browse, R.A., Computational selection of processing location in vision, Compte rendu du 5^{e} Congrès annuel de la Cognitive Science Society, Rochester, New York, 1983.

3. Klatzky, R.L., Lederman, S.J., Metzger, V. Identifying objects by touch, publication acceptée dans Perception and Psychophysics, 1985.

4. Moore, T. A health monitoring system for robots, 6^{e} colloque international sur la robotique et l'automatisation, Santa Barbara, CA, mai 1985.

La plus grande partie des publications dont sont auteurs ou co-auteurs les docteurs S. Browse et S. Lederman traite de la biologie/vidéo-informatique et de la perception tactile biologique respectivement. C'est la raison pour laquelle on n'en donne pas la liste ici.

UNIVERSITÉ DE TORONTO

Département de génie mécanique

Laboratoire de robotique et d'automatisation

5 Kings College Rd.
Toronto (Ontario)
M5S 1A4

Prof. A.A. Goldenberg
(416) 978-3049
(416) 978-6806

I) Renseignements sur le cadre de recherche

Historique

Le Laboratoire de robotique et d'automatisation est un laboratoire de recherche propre au Département de génie mécanique de l'Université de Toronto. Il a été institué en septembre 1982 sous la direction de A.A. Goldenberg qui s'est joint au Département de génie mécanique après avoir complété une année d'étude subventionnée par une bourse de recherche universitaire d'un an au Département de génie électrique de l'Université de Toronto. Avant de devenir professeur au Département de génie électrique et après ses recherches doctorales en systèmes de commande à l'Université de Toronto, A.A. Goldenberg a été employé de Spar Aerospace Ltd. Le co-directeur du Laboratoire de robotique et d'automatisation est R.G. Fenton, un professeur du Département de génie mécanique.

Les principaux objectifs du Laboratoire sont :

- recherche théorique en science de la robotique et en automatisation avec insistance sur la fabrication automatisée;
- recherche et développement à l'intention de l'industrie et contrats de consultation;
- formation d'ingénieurs aux niveaux des premier, deuxième et troisième cycles en robotique et en automatisation.

Équipement

Les chercheurs du Laboratoire ont à leur disposition les équipements suivants :

Robots : IBM-7565, IBM-7545, Puma-560 d'Unimation, Rhino-XR2, Rhino Scorpion, Charley 2 de VSI Automation.

Systèmes de vision : Octek 2200 (16 niveaux, ordinateur PDP-11/73), IRI P256 (256 niveaux, autonome).

Ordinateurs : PDP-11/73 (11/23), processeur matriciel MSP-300, Apple-II, IBM-PC, IBM-Série 1, VAX 11/750.

Autres : périphériques d'ordinateur, équipements d'enregistrement vidéo, postes de station de CAO.

Tout cet équipement (à l'exception du VAX 11/750 et des postes de station CAO) occupe une superficie du Laboratoire d'environ 800 pieds carrés, divisée en zones pour étudiants du premier cycle, en zones pour l'administration et en zones pour la recherche.

Affiliations :

La principale affiliation du Laboratoire est le Département de génie mécanique, mais il reste en contact avec les départements de génie électrique et d'informatique, par l'intermédiaire de projets mixtes pour étudiants des premier, deuxième et troisième cycles. En outre, la nouvelle option de FAO, offerte par le Département de technologie, devrait affilier le Laboratoire avec le Département des sciences industrielles, des métaux et des matériaux et le Département de génie chimique.

Provenance du financement et sommes versées

Le Laboratoire de robotique et d'automatisation a reçu comme montant de financement de départ de la part de la Faculté des sciences appliquées et du génie et du Département de génie mécanique de l'Université de Toronto la somme de 230 000 $. En outre, certains fonds proviennent de subventions d'exploitation, de conversion et d'achat d'équipements. Vous trouverez ci-après une liste des subventions accordées. Il faut que vous sachiez que lors de la demande de certaines subventions importantes, le requérant principal (A.A. Goldenberg) et le co-requérant (R.G. Fenton) avaient l'appui des professeurs d'autres départements (H.W. Smith et K.C. Smith - Génie électrique, J. Buzacott - Génie industriel, J. Tsotsos - Informatique).

Subventions accordées :

Subvention	Période	Requérant	Titre
CRSNG, exploitation industrielle	81/84	A.A. Goldenberg	Commande pour l'automatisation
Fondation Bickell, Subvention d'exploitation et d'achat d'équipements	83-84	A.A. Goldenberg	Système extéroceptif intégré pour manipulateurs robots

CLID, Achat d'équipements	83-84	A.A. Goldenberg et chercheurs associés (R.G. Fenton, K.C. Smith, H.W. Smith	Systèmes de fabrication automatisée utilisant des robots
CRSNG, stratégique exploitation	84-86	A.A. Goldenberg et chercheurs associés (R.G. Fenton, K.C. Smith, J. Buzacott)	Automatisation industrielle intégrée utilisant des robots
CRSNG, Exploitation	84-87	R.G. Fenton	Conception, robotique et fabrication
CRSNG, Exploitation	84-87	A.A. Goldenberg	Exploitation et achat d'équipements - Laboratoire de robotique
U. de T., petites subventions	81-84	A.A. Goldenberg	Exploitation et achat d'équipements - Laboratoire de robotique
Northern Telecom Inc.	84-85	A.A. Goldenberg	Fabrication automatisée en petite série
CRSNG, Achat d'équipements	84-87	A.A. Goldenberg (utilisateur occasionnel) (chercheur principal - J. Tsotsos du Département d'informatique)	Machine LISP
CRSNG, Recherches innovatrices	85-86	A.A. Goldenberg et R.G. Fenton	Main multidigitale à détection tactile (équipement)
		Total	672 000 $

Pour l'année financière 1984-1985, les dépenses d'exploitation du Laboratoire ont atteint au total environ 300 000 $. Ce montant a été financé à la

fois par les subventions à la recherche et par les sommes perçues pour des recherches effectuées à contrat.

Outre les recherches financées par des subventions, ce Laboratoire réalise des recherches en vertu de contrats. Ces dernières sont importantes à la fois pour ramasser des fonds et pour acquérir une certaine crédibilité. Depuis 1982, ce genre de recherche a généré des recettes de 418 000 $ et a été effectué pour le compte du CNRC, du ministère des Transports et des Communications de l'Ontario, de Northern Telecom Ltd., d'IBM Canada Ltée, de Vadeko International Inc., et de l'Hydro-Ontario. Les travaux ont porté sur la fabrication à partir de robots, la simulation en temps réel et en temps différé et la mobilité des robots. Au total, depuis l'instauration du Laboratoire (août 1982), les entrées de fonds ont atteint 1 300 000 $ (financement de lancement, subventions et recettes des contrats).

Structure de tarification et services extérieurs

Les tarifs que charge le Laboratoire pour ses services sont conformes aux règlements de l'Université de Toronto pour ce qui touche les services de consultants professionnels. Les services de recherche en génie du Laboratoire sont basés sur un revenu moyen de 40 000 $ par année. Dans le cas des étudiants des deuxième et troisième cycles, les services sont facturés à environ 960 $ par mois. Pour la machinerie et la fabrication d'équipement, les frais sont fixés par le surveillant de l'atelier de fabrication du département, M. P. Loite.

Clientèle

Les équipements du Laboratoire peuvent être loués par des utilisateurs extérieurs moyennant un tarif nominal. En outre, des professeurs d'autres départements peuvent se servir de l'équipement. La clientèle actuelle comprend : IBM Canada, Northern Telecom, Hydro-Ontario, le ministère des Transports et des Communications de l'Ontario, etc.

Les projets soumis par des organismes extérieurs sont actuellement réexaminés à la lumière de leur rapport avec le mandat du Laboratoire de robotique et d'automatisation.

Projets d'expansion

Pour l'avenir immédiat, le Laboratoire compte agrandir sa superficie disponible et acquérir de nouveaux équipements, notamment un poste de travail, un mini-ordinateur, des installations de recherche avec la main multidigitale et un bras souple à deux degrés de liberté.

Au cours de 1986, le Laboratoire sera intégré au Centre de CAO/FAO et de robotique de l'Université de l'Ontario. Ce centre sera constitué, au début, du Laboratoire de robotique et d'automatisation et du Laboratoire du génie assisté par ordinateur. Ce centre occupera un nouvel immeuble du campus.

II) Renseignements sur le personnel

Directeur :	A.A. Goldenberg	Génie mécanique et génie électrique
Professeur :	R.G. Fenton	Génie mécanique
Professeurs affiliés :	A. Sinclair	Génie mécanique
	H.W. Smith	Génie électrique
	K.C. Smith	Génie électrique
	J.K. Tsotsos	Informatique
Personnel :	R.A.D. Wallace	Ingénieur de recherche - électrique
	J. Wiercienski	Ingénieur de recherche - mécanique
Personnel affilié : (temps partiel)	D. Benhabib	Étudiant au doctorat - Génie mécanique
	I. Jhajj	Étudiant en maîtrise - Génie mécanique
	A. Kuo	Étudiant du premier cycle - Génie mécanique
	J. Mills	Étudiant au doctorat - Génie mécanique
	B. Sooley	Consultant - Électrique
	A. Melidy	Consultant - Logiciel

À ces personnes s'ajoutent quinze étudiants des deuxième et troisième cycles (neuf au doctorat, neuf en maîtrise en sciences appliquées, deux en maîtrise en génie mécanique et deux en maîtrise en génie électrique). Ces étudiants sont dirigés par les professeurs Goldenberg et Fenton. Sont également dirigés des étudiants du premier cycle (trois en 1982, huit en 1983, dix en 1984 et vingt-cinq actuellement) afin de les aider à poursuivre les recherches en robotique nécessaires à la rédaction de leur mémoire.

III) Activités de recherche

Les disciplines de recherche du personnel du Laboratoire et des étudiants affiliés sont résumées ci-après :

Cinématique (A.A. Goldenberg et R.G. Fenton)

Dans le domaine de la commande cinématique des manipulateurs de robots, le professeur Goldenberg et M. Lawrence ont élaboré un algorithme itératif de la cinématique inverse pour résoudre le déplacement de manipulateurs à six degrés de liberté, algorithme qui mise pour la première fois sur la notion de déplacement résiduel. Après ce travail, Goldenberg, Benhabib et Fenton ont

trouvé une solution itérative généralisée convenant à toute classe de robots dotés de n'importe quel type d'articulation et d'un nombre quelconque de degrés de liberté. Cette nouvelle méthode est basée sur un algorithme d'optimisation contrainte à convergence rapide obtenue au moyen d'une technique de Newton-Raphson modifiée.

Benhabib démontre dans sa thèse de doctorat (dirigée conjointement par Fenton et Goldenberg) la possibilité de commander des robots cinématiquement redondants au moyen des nouvelles méthodes de cinématique inverse élaborées.

Les algorithmes de planification de trajectoire continue pour organes terminaux, qui recourent à l'interpolation polynomiale par morceaux entre les points de trajectoire, donnent lieu à des solutions de commande efficaces. Le travail communiqué par Goldenberg et Lawrence sur la planification de trajectoire pour organe terminal, faite par interpolation entre positions cartésiennes de l'organe terminal, a été poussé plus avant par Benhabib. Le nouvel algorithme intègre une technique d'optimisation contrainte dans le but de déterminer un ensemble optimal d'intervalles de temps pour l'interpolation des polynômes cubiques entre les points de trajectoire.

Les travaux les plus récents de Benhabib sur la planification de trajectoire continue hors ligne ont permis d'explorer de nouveaux algorithmes d'optimisation du mouvement de l'organe terminal pour des robots redondants. Un algorithme d'optimisation à deux niveaux, oeuvre de la même personne, minimise l'écart par rapport à la trajectoire imposée dans un volume tridimentionnel en utilisant les degrés de liberté redondants du robot comme variable contrainte. Un développement naturel de cette technique est la sélection d'un nombre minimal de positions afin "d'approximer" une trajectoire bornée.

Commande (A.A. Goldenberg)

Dans les opérations d'assemblage, le déplacement du robot est limité par la géométrie de la tâche et on dit que ce mouvement est compliant. Une méthode de réaction à l'effort reposant sur la compensation d'une boucle asservie a été examinée dans la thèse de Bazerghi. Cette méthode commande le mouvement compliant de façon active en utilisant des capteurs de contact du volume de travail et un modèle mathématique du robot. Cet algorithme a été appliqué à une tâche d'insertion fixe simulée de type "tenon dans mortaise".

Une nouvelle méthode basée sur une commande par "préexamen" du déplacement compliant a été mise au point par Goldenberg. Cette façon d'aborder le problème prédit les forces imprimées sur les points de contact des parties accouplées. Une façon d'aborder la commande des robots, basée sur des compensateurs robustes, a également été introduite par le même chercheur. Cette méthode exploite la technique du moment calculé et convient bien à la conception d'un compensateur robuste. Elle perfectionne les résultats déjà publiés éliminant l'hypothèse que les éléments calculés du modèle sont identiques à leurs contreparties réelles.

Une nouvelle méthode de commande cinématique est envisagée dans la thèse de maîtrise en sciences appliquées d'Apkarian. Il s'agit d'une méthode qui,

elle aussi, compense les erreurs dues à une sollicitation inconnue. Cette solution de commande adaptative non linéaire élimine le besoin de modélisation cinématique et dynamique du robot grâce à l'identification des linéarités, de même que des non-linéarités, de la trajectoire nominale au moyen d'un estimateur aux moindres carrés itératif.

La conception de contrôleurs exploitant la technique des moments calculés pour un robot monolien léger à flexibilité structurale est le sujet de la thèse de Rakhsha. Cette méthode utilise des techniques de modélisation dynamique connues (employées dans des applications aérospatiales) et prouve qu'en utilisant la méthode des moments calculés pour un modèle de corps rigide, on obtient une réponse plus rapide. Le mémoire en sciences appliquées de Dharna traite de la mise en oeuvre d'une procédure synthétique d'élaboration, par l'intermédiaire de la réaction de l'état, d'un robot à six degrés de liberté (PUMA-560).

Actuellement, on étudie une nouvelle façon de commander en temps réel des robots dans un volume de travail en recourant aux capteurs d'efforts et aux capteurs tactiles. Melidy et Cai Long travaillent actuellement sur une méthode d'adaptation de logiciel et de matériel existants afin de réaliser le contrôle du volume de travail. Cette solution fait l'objet d'une mise en oeuvre en vue de produire un nouveau contrôleur pour le robot PUMA-560 qui fonctionnerait ainsi sans VAL.

Simulation (A.A. Goldenberg et R.G. Fenton)

Un programme de simulation complet pour manipulateur de robot (à corps rigide) a été mis sur pied par Goldenberg. Ce programme se divise en cinq modules : module principal, cinématique, commande, dynamique et services. Ce programme, qui peut servir à simuler en temps différé n'importe quel déplacement d'un robot au moyen d'ordres dans son espace de travail, a été appliqué avec succès au robot PUMA 560. Des travaux supplémentaires ont été décrits dans la thèse de Bazerghi, notamment un modèle mathématique qui comprend un algorithme de simulation efficace pour le calcul des efforts d'un robot à six degrés de liberté ayant comme tâche une insertion rigide de type "tenon dans mortaise".

Rakhsha a traité de la conception de contrôleurs pour robots mono-bras jouissant de la flexibilité structurale. Ce nouvel algorithme de simulation interactif calcule la réponse dynamique du bras d'après la technique des moments calculés. Des travaux plus poussés sont actuellement en cours sur la modélisation dynamique d'un bras de robot à deux liens jouissant également de la flexibilité structurale.

Des programmes de simulation informatique graphique sont d'une grande valeur pour les recherches en robotique. Le programme d'animation interactif écrit par Benhabib simule le mouvement tridimensionnel du robot pour la disposition du centre de travail de même que pour la détection des collisions. Kuo dans sa thèse utilise le progiciel IBM/CATIA pour modéliser le centre de

travail tridimensionnel, la structure du robot et pour animer, en différé, le déplacement du robot.

Automatisation de l'assemblage (A.A. Goldenberg et R.G. Fenton)

La concurrence industrielle et les écarts de productivité entre les nations les plus industrialisées et le Canada constituent des enjeux nationaux importants. Une étude de l'assemblage automatique dans la fabrication, réalisée par Serles et Goldenberg, dresse le bilan des méthodes actuelles d'assemblage automatique et les sujets de recherche propres à cette discipline.

En laboratoire, plusieurs études et mises en oeuvre d'une large gamme d'applications d'automatisation à partir de robots ont été entreprises. Mentionnons le projet de radiateur de Payandeh dans lequel un centre de travail robotisé, appelé SCARA, peut effectuer l'assemblage de puces montées sur radiateur à partir des circuits intégrés et des radiateurs, et une large gamme de projets de thèses d'étudiants de premier cycle qui utilisent l'IBM 7545, le PUMA-560 ou le robot CHARLEY 2 pour l'automatisation de procédés d'assemblage.

J. Wiercienski et A. Goldenberg ont élaboré la conception conceptuelle d'une installation de R & D destinée à la recherche sur l'assemblage automatique. Ce projet fait actuellement l'objet d'une évaluation pour la mise en service du matériel.

Optimisation de la conception (R.G. Fenton)

La configuration d'un robot et la longueur de ses membres sont conditionnées par le volume de travail du robot et influencent le cycle de travail et certains effets dynamiques durant la réalisation des tâches. Lipitkas et Fenton ont mis au point une procédure de sélection des dimensions de la configuration du robot à partir d'une technique d'optimisation systématique. Cet algorithme efficace optimise une fonction d'objectif qui est en fait une moyenne pondérée de plusieurs fonctions, notamment le volume de travail et la moyenne du cycle de travail. Lipitkas a terminé cette recherche dans le cadre de sa maîtrise en sciences appliquées en mettant en oeuvre cet algorithme d'optimisation pour vérifier les dimensions optimales du PUMA-560 et les robots manipulateurs Elbow.

Des travaux plus poussés sont actuellement menés par Zbroja sur l'élaboration d'une solution d'optimisation interactive de la configuration d'un robot qui prend en considération les propriétés dynamiques non linéaires. Diverses fonctions d'objectifs sont actuellement formulées en vue d'être appliquées à des robots industriels.

Précision et répétabilité (R.G. Fenton)

Les robots ayant à respecter des tolérances très strictes doivent être conçus pour avoir une bonne précision, une bonne répétabilité et une bonne résolution. Davison dans sa thèse élabore une procédure d'essai exécutable au moyen d'instruments de mesure simples (indicateurs à affichage). Une étude plus poussée, entreprise par Fenton, a abouti à la mise au point de diverses

techniques servant à juger de la précision et de la répétabilité d'un robot industriel. Ce travail, qui traite de certaines difficultés fondamentales de l'essai des robots, pourra éventuellement servir de fondation à la normalisation des essais de la précision et de la répétabilité des robots industriels. Certaines méthodes imaginées par Fenton ont été démontrées avec succès au cours d'essais de précision et de répétabilité d'un robot PUMA-560.

Pinces multidigitales articulées (A.A. Goldenberg, J. Wiercienski)

Les organes terminaux actuels, comme les systèmes de manipulation et de détection de pièces quelconques, souffrent d'un manque de flexibilité et d'adaptation. L'utilisation sans cesse croissante de robots industriels en fabrication, notamment en assemblage, impose la réalisation d'une copie mécanique de la main humaine qui pourrait facilement manipuler des pièces de formes et de poids différents. À cet égard, Wiercienski a entrepris, en laboratoire, la conception d'une main mécanique à quatre doigts. Cette configuration permettra de saisir par l'intérieur ou par l'extérieur des objets de formes irrégulières.

Deux concepts mécaniques différents ont été retenus par Wiercienski pour l'analyse et l'élaboration de doigts mécaniques. Le premier doigt fabriqué à notre centre d'usinage et assemblé dans notre Laboratoire est actionné au moyen de deux tendons opposés entrelacés symétriquement autour de cylindres et actionnés par un moteur.

Dans une seconde conception, le doigt comprend à chaque articulation une vis mère raccordée par l'entremise d'un axe flexible et d'un engrenage magnétique à un moteur pas à pas. Les articulations interphalangiennes peuvent plier dans un sens ou dans l'autre en changeant alternativement la rotation du moteur. Cette solution est actuellement intégrée à la "main mécanique".

La commande de la pince multidigitale proposée fait appel à la coordination de quinze degrés de liberté. La méthodologie retenue est de considérer la main comme un système cinématiquement redondant et d'optimiser les déplacements des doigts en définissant un critère de performance fonction de la tâche.

À l'étape actuelle de l'élaboration de la pince, l'accent est placé sur la détection et la commande.

Détection tactile (A.A. Goldenberg, R. Wallace)

La recherche en détection tactile vise à doter de cette fonction sensorielle la main multidigitale de Wiercienski. Wallace a rédigé un rapport dans lequel il passe en revue les capteurs tactiles expérimentaux et commerciaux en vue de choisir une avenue de recherche. Il cherche présentement à utiliser le fluorure de polyvinylidène (PVF_2), un polymère piézoélectrique, comme transducteur tactile; d'ailleurs il a déjà produit à l'aide de ce matériau des matrices 2 x 4 et 4 x 4 opérationnelles. Actuellement les recherches portent sur des techniques de construction de capteurs et de traitement du signal,

ensuite elles porteront sur l'interprétation du signal (c'est-à-dire l'interprétation de "l'image" tactile).

Principaux objectifs de recherche

Le Laboratoire s'est fixé comme principaux objectifs de recherche : i) d'intégrer les fonctions de la détection par contact à la commande robot; ii) d'élaborer des méthodes systématiques de conception de systèmes d'assemblage automatiques clé en main; iii) de créer des robots dotés de la mobilité; iv) de construire des organes terminaux généraux pouvant manipuler des pièces irrégulières; v) de construire des bras de robot légers.

Domaines de spécialisation

Le Laboratoire se spécialise en : i) intégration et contrôle de l'automatisation industrielle à plusieurs degrés de liberté; ii) commande cinématique des robots; iii) commande de bras flexibles; iv) application et intégration de capteurs, à contact et sans contact, à un robot; v) construction de pinces intelligentes à usage général. Pour ce qui est des applications, le Laboratoire se spécialise en assemblage automatique, en systèmes mobiles pour l'inspection et le dépannage et en mécanismes de haute précision à plusieurs degrés de liberté.

Principales réalisations à ce jour

Le personnel de ce Laboratoire et les étudiants affiliés ont à leur crédit de nombreuses réalisations; les voici :

- Wiercienski et Goldenberg ont élaboré deux doigts télécommandés entièrement fonctionnels. Une main toute mécanique est actuellement en cours de construction et comprendra quatre doigts semblables aux doigts prototypes modifiés.

- Wallace et Goldenberg ont créé des matrices tactiles 2 x 4 et 4 x 4, à partir du PVF, et ils devraient les intégrer à la main mécanique (doigts).

- Melidy et Goldenberg ont imaginé une nouvelle solution de commande de logiciel pour le robot PUMA-560, exécutée sur le mini-ordinateur PDP-11/73.

- Benhabib, Fenton et Goldenberg ont trouvé une solution généralisée complète de la cinématique inverse pour des robots ayant un nombre quelconque de degrés de liberté.

- Raksha et Goldenberg ont imaginé une nouvelle méthode d'application de la technique des moments calculés à la commande des bras flexibles de robots.

Principaux logiciels déjà rédigés ou utilisés

Rédigés :
- Simulation du PUMA-560 (utilisé actuellement aux universités Concordia et McGill)
- Solution interactive de la cinématique inverse pour un robot ayant un nombre quelconque de degrés de liberté.
- Formulation d'un capteur d'efforts utilisé dans l'insertion du type "tenon dans mortaise".
- Algorithme de commande cinématique adaptative.
- Commande en temps réel d'un PUMA sans VAL traitée par le PDP 11/73

Acheté :
- RCCL (Université Purdue)

Groupements avec lesquels le Laboratoire maintient des contacts

Groupements à l'intérieur de l'Université

- Génie électrique : H.W. Smith, E. Davison et K.C. Smith (co-direction d'étudiants aux études supérieures et endossement de demandes de subventions CLDI, de subventions stratégiques et de subventions pour recherches innovatrices).
- Génie industriel : J.A. Buzacott et E.E. Pickett (endosseur de demandes de subventions CLDI).
- Informatique : J.K. Tsotsos (endosseur de demandes de subventions CLDI et de subventions pour recherches innovatrices).

Groupements à l'extérieur de l'Université

Le professeur A.A. Goldenberg a participé à certaines activités de l'Institut canadien des recherches supérieures - Intelligence artificielle, robotique et société. Il a participé au congrès de fondation qui s'est tenu à Ottawa en mars 1984 et a présenté, à titre de conférencier, une communication à l'atelier sur l'intelligence artificielle qui s'est tenu à Vancouver, Université de la Colombie-Britannique, en juin 1984.

En outre, certains contacts sont maintenus avec le Laboratoire de vidéo-informatique et de robotique du Département de génie électrique de l'Université McGill.

Le professeur Goldenberg entretient également des liens étroits avec certaines organisations comme : Northern Telecom (usines de Bramalea, London et Belleville en Ontario); IBM Canada, Don Mills; ministère des Transports et des Communications, Downsview; Hydro-Ontario; Vadeko International Inc., Mississauga et l'Ontario Robotic Centre, Peterborough (Ontario).

À la suite de la visite des principaux laboratoires des États-Unis, le professeur Goldenberg a pu établir certains contacts qui se sont traduits par l'échange de rapports avec le Laboratoire sur l'intelligence artificielle du MIT; le Laboratoire Charles Stark Draper, Boston; l'Université Purdue, Indiana; Le Rensselaer Polytechnical Institute, Troy (New York); l'Université du Rhode Island et l'Université Carnegie-Mellon, Pittsburgh.

Le professeur Goldenberg est également resté en rapport avec la Division de fabrication des robots IBM de Boca Raton, Floride, où il a passé quelque temps en 1983.

Sa place dans le milieu de recherche en robotique

A titre de centre voué à la recherche, au développement et à l'enseignement, ce Laboratoire a pour rôle de posséder les compétences, les installations et le cadre général permettant : i) de poursuivre des travaux théoriques sur le développement de la science de la robotique; ii) d'enseigner aux ingénieurs; iii) de collaborer avec l'industrie. Le travail de nature théorique est essentiel aux autres centres de recherche du Canada et de l'étranger. Les objectifs du Laboratoire de robotique et d'automatisation sont de bâtir la théorie, de résoudre les problèmes et de tester les solutions sur du matériel prototype. Les principaux secteurs industriels considérés sont la fabrication et le dépannage. Son bilan jusqu'à ce jour place le Canada parmi les pays les plus actifs dans certaines recherches et en robotique.

Participation au Forum de coordination mixte sur la coopération internationale en robotique avancée

Les universités et les industries, aussi bien canadiennes qu'étrangères, s'intéressent beaucoup aux travaux menés sur la commande intelligente de robots, la conception optimale, la détection par contact, les bras flexibles et la mobilité. Le Laboratoire de robotique et d'automatisation a déjà tout mis en oeuvre pour appuyer les efforts canadiens dans ces domaines par l'intermédiaire du Forum de coordination mixte.

IV) Références bibliographiques

Livre

Contrat passé avec l'éditeur Reston Publishing Inc. pour publier en 1985 un livre intitulé "Introduction to Advanced Robotic Systems" (Goldenberg).

Articles de revues, communications de comptes rendus (publiés en entier après révision de tout l'article)

1. Bazerghi, A., Goldenberg, A.A., Apkarian, J., An exact kinematic model of PUMA-600 robot manipulator, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 14, No. 3, pp. 483-487, mai-juin 1984.

2. Bazerghi, A., Goldenberg, A.A., Simulation model of insertion process, Robots 8, pp. 6.84-6.96, juin 1984.

3. Benhabib, B., Goldenberg, A.A., A solution to the inverse kinematics of redundant robots, Journal of Robotic Systems, sous presse : également, American Automatic Control Conference, 1985.

4. Fenton, R.G., Benhabib, B., Goldenberg, A.A., Optimal point to point control of robots with redundant degrees of freedom, ASME Computer Integrated Manufacturing and Robotics, pp. 93-110, 1984; également Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry, sous presse.

5. Goldenberg, A.A., Comment on a linear algebra approach to the analysis of rigid body velocity from position and velocity data, Transaction of the ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 106, No. 3, pp. 240, septembre 1984.

6. Goldenberg, A.A., Payandeh, S., Automatic assembly: A case study, SME Technical Paper, MS 84-619, septembre 1984.

7. Goldenberg, A.A., Lawrence, D., End effector path generation, ASME Sensors and Controls for Automated Manufacturing and Robotics, pp. 271-280, 1984; également Transactions of the ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, sous presse.

8. Goldenberg, A.A., Lawrence, D., A generalized solution to the inverse kinematics of robotic manipulators, Transactions of the ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, mars 1985.

9. Goldenberg, A.A., A kinematic and dynamic simulation of the IBM 7565 using AML, Modeling, Simulation and Control, B., Vol. 3, No. 4 pp. 29-46, 1985, sous presse.

10. Goldenberg, A.A., Robot gripper path generation, IFToMM on Design and Synthesis, pp. 697-702, juillet 1984.

11. Goldenberg, A.A., Bazerghi, A., Synthesis of robot control for assembly processes, Journal of Mechanism and Machine Theory, sous presse.

12. Goldenberg, A.A., Bazerghi, A., A preview approach to force control for robot manipulators, Journal of Mechanism and Machine Theory, sous presse.

13. Goldenberg, A.A., Rakhsha, F., Dynamic modelling of a single link flexible robot, IEEE Robotic Research and Automation, 1985, sous presse.

14. Goldenberg, A.A., An AML implementation of IBM-7565 robot kinematic and dynamic simulation, Journal of Robotic Systems, sous presse.

15. Goldenberg, A.A., Benhabib, B., Fenton, R.G., A complete generalized solution to the inverse kinematics of robots, IEEE Journal of Robotics and Automation, sous presse.

16. Goldenberg, A.A., A CAD simulation of IBM 7565, Journal of Digital Systems for Industrial Automation, sous presse.

Articles déposés pour publication dans une revue (actuellement à l'étape de la révision)

1. Apkarian, J., Goldenberg, A.A., Smith, H.W., A new approach to kinematics control of robot manipulator, IEEE Journal of Robotics & Automation.

2. Apkarian, J., Goldenberg, A.A., Smith, H.W., A new approach to kinematic & dynamic control of robot manipulator, Transactions of the ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement of Control.

3. Benhabib, B., Goldenberg, A.A., Fenton, R.G., A solution to the inverse kinematics of redundant robots, Transactions of the ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurements and Control.

4. Benhabib, B., Goldenberg, A.A., Fenton, R.G., Optimal path generation for redundant robots, Transactions of ASME, Journal of Engineering for Industry.

5. Goldenberg, A.A., A. Melidy, G. Suwala, An approach to real-time control of robots in task space application to PUMA-560 control without VAL, IEEE Transactions on Industrial Electronics.

6. Goldenberg, A.A., Robust control of robot manipulator, IEEE Transactions on Automatic Control.

7. Goldenberg, A.A., Contribution to synthesis of manipulator control, Journal of Robotic Systems.

8. Goldenberg, A.A., Control of robot with disturbance rejection, Journal of Robotic Systems.

9. Goldenberg, A.A., Benhabib, B., End effector optimal path generation, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics.

10. Goldenberg, A.A., Rakhsha, F., Control of a single-link flexible robot, International Journal of Robotic Research.

11. Rakhsha, F., Goldenberg, A.A., Feedforward control of a single-link flexible robot, Journal of Mechanism & Machine Theory.

12. Wallace, R.A.D., Goldenberg, A.A., A modular tactile sensor for robotic applications, Journal of Manufacturing Systems.

Articles de revue en cours de rédaction

1. Benhabib, B., Goldenberg, A.A., Fenton, R.G., End effector trajectory generation using velocity profile.

2. Goldenberg, A.A., A new approach to kinematic modeling of robot Manipulators.

3. Goldenberg, A.A., Dharna, H., Davison, E.J., Adaption of Freunds's method for decoupling control of robots.

Communications de congrès (publiées en entier ou dont la publication intégrale a été acceptée après étude seulement du résumé)

1. Benhabib, B., Fenton, R.G., Goldenberg, A.A., Point to point control of seven degrees of freedom robots for assembly operations, Compte rendu du Troisième Congrès canadien CAO/FAO et de robotique, pp. 10.1-10.8, juin 1984.

2. Benhabib, B., Goldenberg, A.A., Fenton, R.G., Issues on motion analysis and kinematic control of redundant robots, Quatrième Congrès canadien CAO/FAO et de robotique, juin 1985, sous presse.

3. Davison, T.J., Fenton, R.G., Goldenberg, A.A., Accuracy and repeatability of robots and manipulators, Percées en robotique et en automatisation, pp. 126-128, 1984.

4. Fenton, R.G., Benhabib, B., Goldenberg, A.A., Performance evaluation of seven degrees of freedom robots, Percées en robotique et en automatisation, pp. 152-155, 1983.

5. Fenton, R.G., Lipitkas, J., Optimum design of manipulators, Septième Colloque sur les applications techniques de la mécanique, pp. 68-73, juin 1984.

6. Fenton, R.G., Lipitkas, J., Robot design using optimization, Actes du Congrès international de CAO/FAO, de robotique et d'automatisation, février 1985, sous presse.

7. Fenton, R.G., Benhabib, B., Portelli, P., Kinematic control equations for a mobile PUMA robot, Dixième Congrès canadien de mécanique appliquée, mai 1985, sous presse.

8. Goldenberg, A.A., The servomechanism with error feeback: theory and application to the space shuttle remote manipulator system, Actes du

Premier Congrès mondial de mathématiques au service de l'homme, Barcelogne, juillet 1977.

9. Goldenberg, A.A., Sharpe, A., Control of a large classe of flexible systems, Compte rendu du Troisième Colloque sur les grandes structures d'engins spatiaux, Blacksburg, Viriginie, juin 1981.

10. Goldenberg, A.A., Trajectory tracking using a new robust approach, Compte rendu du 21^{e} Congrès CDC, pp. 357-369, décembre 1982.

11. Goldenberg, A.A., On the interactive design of robotic manpulator control, Compte rendu du 22^{e} Congrès CDC, pp. 1227-1232, décembre 1983.

12. Goldenberg, A.A., Apkarian, J., Non-linear adaptive torque control of three link manipulator, Compte rendu de l'IEEE - cybernétique et société, pp. 43-48, New Delhi, janvier 1984.

13. Goldenberg, A.A., Dharna, H., Decoupling control of a robot manipulator - application to PUMA 560, Compte rendu du Septième Colloque sur les applications techniques de la mécanique, pp. 13-21, Toronto, juin 1984.

14. Goldenberg, A.A., Sooley, B., A microprocesseur based sign making robot, Actes du Congrès international sur les systèmes de commande des machines, Brighton, Royaume-Uni, octobre 1984, sous presse.

15. Goldenberg, A.A., Lem, E., Control of PUMA 560 robot within VAL, Compte rendu de l'Institut et du Congrès CAO/FAO sur la robotique et l'automatisation, Tucson, Arizona, février 1985, sous presse.

16. Goldenberg, A.A., Wiercienski, J., A multifinger articulated hand, Compte rendu du Deuxième Congrès canadien sur la CAO/FAO, mai 1985, sous presse.

17. Goldenberg, A.A., A look-ahead approach to control of robot in assembly Operations, Compte rendu du Congrès de la FIA, Pékin, Chine, août 1985, sous presse.

18. Goldenberg, A.A., Off-line simulation of robot using interactive graphics, Compte rendu d'AUTOMACH, sous presse.

19. Goldenberg, A.A., Rakhsha, F., Simulation model for structurally flexible industrial robot, Congrès international sur la modélisation des procédés industriels, Université Zhejiang, Chine, juin 1985, sous presse.

20. Goldenberg, A.A., Rakhsha, F., Interactive kinematic simulation of robot, 1985, Conférence internationale ASME des ordinateurs en génie, Boston, sous presse; également CIME.

21. Goldenberg, A.A., Melidy, A., A method for PUMA-560 operation without VAL, Robots 9, juin 1985, sous presse.

22. Goldenberg, A.A., Rakhsha, F., Hybrid robot for assembly operations, 10th CANCAM, juin 1985, sous presse.

23. Lawrence, D.D., Goldenberg, A.A., An efficient algorithm for the inverse kinematic solution of a manipulator, Compte rendu des journées d'optimisation, pp. 30-31, Montréal, mai 1983.

24. Rakhsha, F., Goldenberg, A.A., Control of one DOF robotic manipulator with structural flexibility, Compte rendu du Congrès Western Michigan sur le génie mécanique, octobre 1984, sous presse.

25. Rausa, M., Poseika, R., Goldenberg, A.A., Integrated manufacturing system, Compte rendu du Premier Congrès canadien sur la robotique, pp. 103-110, septembre 1982.

26. Wallace, R.A.D., Goldenberg, A.A., A tactile sensor incorporating PVF_2 as the transduction medium, Huitième Congrès international sur les recherches de production, Stuttgart, août 1985, sous presse.

Rapports et projets de laboratoire

1. Goldenberg, A.A., Software development for simulation of a robotic manipulator - mathematical model, Rapport du CNRC, décembre 1982.

2. Goldenberg, A.A., Software development, for simulation of a robotic manipulator - software documentation, Rapport du CNRC, décembre 1982.

3. Goldenberg, A.A., Robotic applications for future Go-Train, ministère des Transports et des Communications de l'Ontario, février 1984.

4. Goldenberg, A.A., Serles, C., Automatic assembly in manufacturing. issues and a literature review, Rapport technique TP83-7, Université de Toronto, Département de génie mécanique, mai 1983.

5. Goldenberg, A.A., Wallace, R.A.D., Tactile sensors for robotic applications - Revue et proposition, avril 1984. Révision août 1984.

6. Goldenberg, A.A., Wallace, R.A.D., Proposal for a tactile sensor incorporating PVF_2 as the transduction medium, août 1984.

7. Goldenberg, A.A., Wiercienski, J., Wallace, R.A.D., Tactile sensing articulated multifingered hand, décembre 1984.

8. Fenton, R.G., Accuracy and repeatability of robots, novembre 1984.

9. Melidy, A., Goldenberg, A.A., Real-time control of PUMA without VAL, Part I: System configuration; Part II: Description of software, janvier 1985.

10. Wiercienski, J., Goldenberg, A.A., Pilot R&D facility for robot assembly cell, décembre 1984.

11. Rapports sur des travaux protégés pour le compte d'IBM Canada Ltée (trois rapports).

12. Rapports sur des travaux protégés pour le compte de Northern Telecom Canada Ltd., (trois rapports).

13. Rapports sur des travaux protégés pour le compte de Vadeko International Inc. (trois rapports).

14. Rapports sur des travaux protégés pour le compte de High Productivity Robots Inc. (un rapport).

15. Rapports sur des travaux protégés pour le compte de Rothman's Pall Mall of Canada Ltd. (un rapport).

Thèses

1. Apkarian, J., Non-linear adaptive control of dynamics and kinematics of robot manipulators (M.Sc.A. 1983).

2. Bazerghi, A., Control of a robot manipulator in automatic assembly (M.Sc.A. 1984)

3. Dharna, H., Application of decoupling control to robot manipulators (M.Sc.A. 1985)

4. Lipitkas, J., Computer aided optimization procedure for the design of manipulator arms (M.Sc.A. 1984)

5. Rakhsha, F., Dynamic modeling and control of one-link flexible robot (M.Sc.A. 1984)

6. Reeder, J., Development of a compensating algorithm for static load and thermal deflection in manipulators (M.Sc.A. 1984).

7. Sooley, B., Development of a low cost vision system for industrial application (M.Sc.A. 1984)

Thèses en cours de rédaction

1. Benhabib, B., Kinematics of redundant manipulators (Ph.D. 1985).

2. Mills, J., Dynamic control of robot with parameter perturbations (Ph.D. 1986).

3. Bummbaca, F., Vision system for part identification (M.Sc.A. 1985). Étudiant en GE; directeur principal K.C. Smith.

4. Fletcher, A., Automatic design and manufacture of molds for dental industry (M.Sc.A. 1986).

5. Illiescu, V., Static of dynamic reflection compensation for elastic robots (M.Sc.A. 1986).

6. Kozak, R., Optimization of work envelope of robots (M.Sc.A. 1985).

7. Long, Cai, Determination of object shape using tactile sensing (M.Sc.A. 1985).

8. Payandeh, S., Screw axis theory for kinematic modeling and control (M.Sc.A. 1985).

9. Schucka, A., Compensation for backlash in precision mechanisms (M.Sc.A. 1986).

10. Stech, M., Accuracy and repeatability of robots (M.Sc.A. 1985).

11. Suwala, G. Real-time control of robots (M.Sc.A. 1985). Étudiant en GE; directeur principal K.C. Smith.

12. Woods, B., Kinematics of multifingered hand (M.Sc.A. 1985).

UNIVERSITÉ DE TORONTO

Département de génie électrique

10 Kings College Road
Toronto (Ontario)
M5S 1A4

Professeur H.W. Smith
(416) 978-6341

I) Résumé

Les recherches connexes à la robotique effectuées par des membres du Département de génie électrique de l'Université de Toronto ont lieu soit à l'extérieur en vertu d'une coopération très étroite avec le Laboratoire de robotique et d'automatisation du Département de génie mécanique et l'Institut de recherche en informatique, soit au département même sur une base individuelle par des groupes spéciaux. Depuis le début de 1980, on y réalise des travaux plus directement reliés aux systèmes de robotique.

II) Renseignements sur le personnel

Chercheurs principaux :

Dr E.J. Davison	Professeur	structures spatiales flexibles
Dr R.H. Kwong	Prof. associé	bras flexibles
Dr H.W. Smith	Professeur	commande de manipulateur
Dr K.C. Smith	Professeur	capteurs, facteurs humains
Dr A.N. Venetsanopoulos	Professeur	traitement d'images
Dr W.M. Wonham	Professeur	fabrication flexible

Parmi les étudiants dirigés actuellement par des membres de ce département, onze travaillent dans le domaine général de la robotique.

III) Activités de recherche

Les disciplines de recherche abordées sont les suivantes : traitement d'images en temps réel (Venetsanopoulos), modélisation et commande de structures flexibles (Kwong, Davison), systèmes de capteurs de vidéo-informatique (K.C. Smith), interface homme-ordinateur (K.C. Smith), tablettes tactiles et capteurs (K.C. Smith), systèmes coordonnés (Wonham) et centres de fabrication flexibles (Wonham).

Les domaines de spécialisation sont : les facteurs humains, le traitement d'images, la modélisation de systèmes de commande et la théorie de la commande servant à la coordination de systèmes discrets.

Les principales réalisations faites à ce jour sont : l'élaboration d'un

banc d'essai pour la mise au point d'un bras flexible spatial, la conception d'un reconnaisseur de composants à code couleur mélangés et un processus de repérage de scènes contraintes.

Des liens très étroits se sont établis entre chercheurs du Laboratoire de robotique et d'automatisation du Département de génie mécanique et ceux des groupes de graphisme dynamique et d'intelligence artificielle de l'Institut de recherche en informatique. Des liens non moins étroits existent avec des professeurs du Département d'électronique de l'Université de Florence et des professeurs du Département de génie électrique de l'Imperial College.

Le financement provient du CRNSNG, par l'entremise de ses subventions d'exploitation, du ministère des Communications, du CLDI, de STM et de Ford.

IV) Références bibliographiques

Les publications touchant le domaine de la robotique sont au nombre de vingt-huit : onze mémoires de maîtrise en sciences appliquées, douze articles cités et cinq articles soumis. En voici quelques-unes :

1. Davison, E.J., Control of automobile engines and flexible manufacturing assembly lines, Ford Motor Co., Dearborn, Michigan, Contrat de recherche (2 ans), rapport final, févr. 1984.

2. Hu, Mou, Smith, K.C., Mouftah, H.T., Low power 2-of-3-valued CMOS self-checking circuits, Compte rendu du 13^{e} Colloque international sur la logique multiforme, Kyoto, Japon, pp. 64-69, 23 au 25 mai 1983.

3. Kwong, R.H., Chang, T.N., Development of control system hardware demonstration for third generation spacecraft, Rapport final, Contrat du MDC, OST 83-00042, p. 178, nov. 1984.

4. Lee, S.K., Buxton, W., Smith, K.C., A multi-touch three dimensional touch-sensitive tablet, à paraître dans le Compte rendu du Congrès CHI'85 sur les facteurs humains dans les systèmes de calcul, San Francisco, avril 1985, 8 mspp. à paraître également (sur demande) dans les Actes du Congrès sur les interfaces graphiques 1985, Montréal, du 27 au 31 mai 1985.

5. Levy-Mandel, A., Venetsanopoulos, A.N., Tsotsos J., Knowledge-based image processing application to the landmarking of cephalograms, Compte rendu du 10^{e} Colloque sur le traitement du signal et ses applications, Nice, France, du 20 au 24 mai 1985, soumis le 25 octobre 1984.

6. Mehta, N., Smith, K.C., Holmes, F.E., Featured extraction as a tool for computer input, Actes du Congrès international sur l'acoustique, la parole et le traitement du signal, Paris, France, du 3 au 5 mai 1982.

7. Mehta, N., Holmes, F.E., Smith, K.C., A fast image processor, Congrès international et exposition sur l'électricité et l'électronique, du 5 au 7 octobre 1981.

8. Venetsanopoulos, A.N., Cappellini, V., Real-time image processing, chapitre du livre : Progress in Multidimensional Systems Theory, Tzafestas, S.G., Dekkere, Marcel (rédacteurs), pp. 85, 1985 (sous presse).

9. West-Vukovich, G., Davison, E.J., Hughes, P.C., Decentralized control of large flexible space structures, IEEE Trans. of Automatic Control, Vol. AC-29, No 10, pp. 866-879, 1984.

UNIVERSITÉ DE TORONTO

Département de génie industriel

4 Taddle Creek Road
Toronto (Ontario)
M5S 1A5

Professeur E.E. Pickett
(416) 978-6421

I) Résumé

Les recherches connexes à la robotique effectuées en génie industriel à l'Université de Toronto sont faites directement sur place par des chercheurs individuels. Les travaux qu'on y effectue sur la fabrication flexible et la robotique sont en marche depuis 1980.

Les personnes directement engagées dans ces recherches sont :

Dr E.E. Pickett	Professeur	capteurs, traitement d'images
Dr A. Vannelli	Professeur adjoint	systèmes flexibles

Au nombre des étudiants dirigés, il y en a deux au niveau du doctorat et trois en maîtrise qui s'intéressent à des sujets touchant le domaine général de la robotique.

Les sujets abordés sont la vidéo-informatique, le traitement d'images, la planification de tâches, la perception machine, les capteurs de robots, la surveillance et la commande de la production automatisée et les centres de fabrication flexible.

Les disciplines de spécialisation sont l'inspection automatisée, le traitement d'images, l'ordonnancement et la partition graphique.

Des rapports personnels se sont établis avec des membres du Laboratoire de robotique et d'automatisation du Département de génie mécanique de même qu'avec des chercheurs du CNRC, Division de génie électrique.

Une des sources de financement est le CRSNG, qui accorde des subventions d'exploitation.

II) Références bibliographiques

Les publications produites à ce jour sur les recherches en robotique comprennent quatre articles cités et trois articles soumis. En voici quelques-unes :

1. Jha, R., Pickett, E.E., Object acquisition in the presence of uncertainties, Compte rendu du congrès ASME sur les ordinateurs dans le génie, Boston, MA, 1985.

2. Kusiak, A., Vannelli, A., Grouping problems in scheduling flexible manufacturing systems, article soumis à la demande de Robotica, 1984.

3. Pickett, E.E., Jha, R., Task planning and verification using visual feedback, Compte rendu SPIE, robots intelligents et vidéo-informatique, vol. 521, Cambridge, MA, 1984.

4. Vannelli, A., Kumar, K.R., A method for finding bottleneck cells for grouping part-machine families, à paraître, International Journal of Production Research, 1985.

UNIVERSITÉ DE TORONTO

Département d'informatique

Laboratoire sur l'intelligence artificielle

10 Kings College Road
Toronto (Ontario)
M5S 1A4

Mme J. Mager
(416) 978-6025

I) Renseignement sur le cadre de recherche

Historique et développement

Le Laboratoire sur l'intelligence artificielle est un groupe de recherche à l'intérieur du Département d'informatique, et tous les professeurs qui y travaillent sont membres de l'Institut de recherche en informatique. Le Département d'informatique a la responsabilité de l'engagement des professeurs, de l'élaboration des programmes de premier cycle et des études supérieures, alors que l'Institut est un organisme interdisciplinaire qui administre le matériel, le personnel technique et se charge des demandes de subventions de recherche et de leur administration. Cet organisme n'a donc pas de directeurs, et la gestion est faite en collégialité. Toutefois, il existe un comité des directives en matière de ressources informatiques qui traitent des principales lignes directrices de l'Institut; ce comité est formé de professeurs du Département d'informatique et de l'Institut qui ne sont cependant pas tous professeurs du Laboratoire sur l'intelligence artificielle. Il est important de souligner qu'aucun organisme officiel de l'Université n'a été créé pour ce genre de recherche.

Les travaux en vidéo-informatique ont débuté presque avec la naissance du Laboratoire, même si c'est tout récemment (1981) qu'il a été décidé de les regrouper. Les premiers travaux ont fait l'objet des thèses de doctorat de Norman Badler et de Dick Peacocke. Depuis lors, on a acheté le matériel dont la liste est donnée ci-après et on a mis l'accent sur une vocation interdisciplinaire. D'où les relations très étroites qui se sont développées avec les départements de psychologie, de physiologie, de génie mécanique et de génie électrique. D'ailleurs, cette coopération a permis de lancer en 1984 une série de rapports techniques intitulés "Research in Biological and Computational Vision", dont les titres déjà parus apparaissent ci-après. Il convient de faire remarquer que les travaux de recherche menés à ce Laboratoire n'ont, comme tels, qu'un rapport très lointain avec la recherche et le développement en robotique. Les chercheurs de ce Laboratoire ne s'intéressent à l'automati-

sation et à la robotique que dans le contexte plus large de la robotique intelligente lorsqu'il est nécessaire d'étudier les fonctions de prise de décisions, la planification, l'évaluation cognitive de la perception, etc. De plus, ce Laboratoire est à la disposition de son personnel, sauf dans le cas d'une participation déjà prévue.

En 1984, trois professeurs du Laboratoire ont été nommés sociétaires de l'Institut canadien des recherches avancées : John Mylopoulos, Hector Lévesque et John Tsotsos. Raymond Reiter est également sociétaire, et sa première nomination a eu lieu lorsqu'il était à l'Université de la Colombie-Britannique. Reiter se joindra au groupe des professeurs de l'Université de Toronto en mai 1985. John Mylopoulos est le coordonnateur, pour l'Université de Toronto, des travaux effectués en vertu du programme de robotique et d'intelligence artificielle de cet Institut.

Équipement :
Emplacement : Bâtiment Sandford Fleming, pièce 3204

- un VAX 11/780 de DEC doté :
  - d'une mémoire de 6 méga-octets,
  - de deux disques de 450 méga-octets,
  - d'un dérouleur de bande,
  - de 32 portes,
  - de deux UNIBUS;

- trois postes de travail de vidéo-informatique Deltapro CDA comprenant chacun :
  - une mémoire de deux méga-octets,
  - un processeur matriciel de 5 méga-bascules,
  - un processeur d'affichage graphique couleur (512 x 512 x 16),
  - un clavier,
  - une balle de pistage,
  - un moniteur couleur Hitachi de 13 pouces;

- une caméra et des lentilles Ultracon RCA, une caméra Sanyo

- un module de prise d'images MATROX, une mémoire et un affichage blanc et noir (256 x 256 x 8),

- un moniteur couleur CONRAC de 25 pouces (512 x 512);

- huit processeurs Lisp Symbolics 3640 (commandés) dotés chacun :
  - d'une mémoire de 4 méga-octets,
  - (deux processeurs avec cartouche de ruban);

- une imprimante Laser IMAGEN (commandée);

- un poste de travail de bureau SUN-2/50-2 (commandé).

En plus de ceci, le Laboratoire compte de nombreux terminaux. Un réseau local permet la communication entre divers processeurs de même que la connexion des équipements d'intelligence articielle au reste des appareils informatiques de l'Université. Le Département d'informatique est un noeud du réseau de communication CSNET, qui raccorde des départements d'informatique partout en Amérique du Nord.

Affiliations

Notre Laboratoire est un des points de regroupement du Programme sur l'intelligence artificielle et la robotique de l'Institut canadien des recherches avancées. Également, tous les professeurs du Laboratoire sur l'intelligence artificielle sont membres de l'Institut de recherche en informatique de l'Université.

Provenance du financement et sommes versées

NOTA : Ne sont pas données ici les subventions d'exploitation individuelles du CRSNG. Leur valeur totale n'est pas constante et augmente à chaque année; actuellement, cette valeur est d'environ 100 000 $ par année.

Abréviations utilisées :

CRSNG - Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie
FOC - Fondation ontarienne du coeur
MAS - Ministère d'Approvisionnements et Services
CLDI - Conseil de leadership et de développement industriel
DEC - Digital Equipment Corporation, Maynard MA
CDA - Computer Design and Applications, Waltham MA
MDC - Ministère des Communications, Ottawa

Provenance	Année	Somme	Commentaires
FOC	81-82	19 600	Analyse informatique des images du coeur en vue d'évaluer la capacité du ventricule gauche.
FOC	82-83	25 225	
MAS	82-83	30 907	Système d'interprétation cognitive et formalismes de représentations cognitives (administré par l'Établissement de recherche pour la Défense - Atlantique).
MAS	83-84	32 623	
CRNSG	83-84	32 000	Subventions pour infrastructure à l'intention du Laboratoire de la médecine informatique.

Provenance	Année	Montant	Commentaires
Connaught	82-84	21 400	Systèmes experts destinés à des applications d'analyse de mouvements visuels et de diagnostic médical.
CLDI	82-83	180 000	Subvention pour l'achat d'équipements (pour le VAX 11/780).
CLDI	83-84	115 000	Subvention pour l'achat d'équipements (les Deltapros CDA).
Connaught	84-85	24 000	Interprétation et levée d'ambiguité sémantique.
MDC	84-85	50 000	Mise en oeuvre de représentations et de structures de commande.
CDA	83-84	70 000	Subvention pour l'achat d'équipements (pour les Deltapros CDA).
DEC	82-83	180 000	Subvention pour l'achat d'équipements (pour le VAX 11/780).
CRSNG	83-86	300 000	Subvention stratégique (mise en oeuvre de TAXIS).
CRSNG	84-87	995 000	Subvention stratégique - système expert de deuxième génération.
CRSNG	84-85	500 000	Subvention pour l'achat d'équipements - Machines Lisp.

Structure tarifaire pour les services rendus à l'extérieur

C'est l'Institut de recherche en informatique qui gère les équipements et c'est auprès de lui que l'on peut obtenir tous les renseignements concernant la structure tarifaire (David Galloway, administrateur du Laboratoire). Comme on l'a déjà mentionné, seuls les collaborateurs de recherche sont autorisés à utiliser les équipements du Laboratoire sur l'intelligence artificielle.

Clientèle (Industrie et gouvernement)

1) Digital Equipment Corporation, Maynard, MA. Partenaire de recherche (a accordé une subvention de 180 000 $ qui a servi à l'achat du VAX 11/780 et de l'appareillage connexe).
2) Computer Design and Applications, Waltham, MA. Partenaire de recherche (a accordé une subvention de 70 000 $ qui a servi à l'achat des Deltapros CDA).

3) Établissement de la recherche pour la Défense - Atlantique, Dartmouth (N.-É.) (ministère des Approvisionnements et Services). Contrat de recherche pour l'exécution d'études sur des solutions de représentations et de commandes cognitives.
4) Canadian Artificial Intelligence Products Corp., Nepean (Ont.)
5) Spar Aerospace, Toronto (Ont.)
6) Les recherches Bell-Northern, Ottawa (Ont.)
7) Ministère des Communications, Ottawa. Contrat de recherche destiné à élaborer des systèmes de représentations cognitives et des structures de commande.

Projets d'expansion

Le Laboratoire a lancé des offres d'emploi pour l'embauche de deux scientifiques de recherche (doctorat avec expérience en intelligence artificielle) et de deux programmeurs (maîtrise avec expérience en intelligence articielle). En outre, on étudie la possibilité d'engager d'autres professeurs. Pour ce qui est de l'achat de matériel, les seules acquisitions projetées sont des postes de travail personnels (comme les SUN) pour chaque professeur.

II) Renseignements sur le personnel

Professeurs

G. Hirst	Linguistique informatique Sciences cognitives
A.D. Jepson	Mathématiques appliquées Vidéo-informatique
H.J. Lévesque	Représentation cognitive Systèmes basés sur la connaissance
J. Mylopoulos	Représentation cognitive Systèmes basés sur la connaissance Application de l'intelligence artificielle aux systèmes d'information
R. Reiter	Représentation cognitive Application de l'intelligence artificielle aux bases de données
J.K. Tsotsos	Vidéo-informatique Systèmes basés sur la connaissance Applications de l'intelligence artificielle à la médecine

Professeurs associés :

A. Goldenberg	Génie mécanique	Robotique et automatisation
P. Hallett	Physiologie	Neurophysiologie visuelle
P. Kolers	Psychologie	Perception du mouvement
H. Kwan	Physiologie	Neurophysiologie visiomotrice
A. Venetsanopoulos	Génie électrique	Traitement d'images numériques

Professeurs invités (1985) :

A. Dempster	Harvard	Solution probabiliste du raisonnement par preuves
M. Fox	CMU	Système intelligent pour la fabrication flexible

Personnel :

Fleet	Chercheur associé	Processus visuels élémentaires
Kramer	Scientifique de recherche	Représentation cognitive
Meghini	Scientifique de recherche	Application de l'IA aus systèmes d'information
Nunes	Programmeur	Systèmes basés sur la connaissance
Shibahara	Scientifique de recherche	Systèmes basés sur la connaissance

Étudiants aux études supérieures

En vidéo-informatique, il y a actuellement six étudiants au niveau du doctorat et deux en maîtrise.

III) Activités de recherche

Disciplines de recherche

Nous recensons quatre disciplines de recherche principales composées de plusieurs sous-catégories. Ce sont :

Représentation cognitive :

fondements logiques,
logique non monotone,
application aux bases de données et au génie logiciel.

Systèmes basés sur la connaissance :

raisonnement par preuves,
raisonnements causal et temporel,
structures de commande.

Linguistique informatique :
- science de la connaissance,
- compréhension d'un langage naturel.

Vidéo-informatique :
- perception du mouvement,
- calcul par coopération,
- perception visuelle chez l'humain,
- processus visuel précis.

Objectifs et orientation des recherches principales

Les travaux en laboratoire effectués dans les disciplines en intelligence artificielle, énumérées précédemment, portent en premier lieu sur la recherche fondamentale et non sur la recherche pratique. Toutefois, certaines applications ont été élaborées, surtout dans le domaine médical. En vidéo-informatique, l'un des efforts les plus importants est de bâtir des théories informatiques qui permettront une compréhension plus approfondie de la nature de la perception humaine de même que de son interaction avec les processus humains de la connaissance. Les chercheurs du Laboratoire sont convaincus qu'une telle compréhension est nécessaire à la création de systèmes vidéo intelligents et vraiment utiles.

Principaux logiciels

Une large gamme de logiciels de manipulation d'images a été appliquée au module de prise d'images MATROX, au système graphique IKONAS (matériel se trouvant à l'Institut des recherches en informatique) et aux postes de travail CDA. Ces logiciels font partie du progiciel RASTERSOFT à la disposition des personnes de l'extérieur. En outre, un progiciel d'envergure en est à l'étape finale du développement; il s'agit d'un programme qui permettra aux postes de travail CDA de traiter au moyen de leur processeur matriciel des programmes entiers rédigés en langage C, de manipuler des images couleur et de créer des images animées.

Parmi les autres logiciels principaux, mentionnons le système expert de vision du mouvement ALVEN servant à l'évaluation de la capacité dynamique du ventricule gauche de l'homme, des programmes de pistage stéréoscopique et des mises en oeuvre de filtres spatio-temporels.

Groupements avec lesquels le laboratoire sur l'IA est en communication

Le groupe de la vidéo-informatique maintient des liens très étroits avec le Laboratoire de vidéo-informatique et de robotique de l'Université McGill ainsi qu'avec les professeurs associés dont on a déjà parlé.

Place dans le milieu de la recherche en robotique

Comme on l'a déjà dit, ce groupe de recherche ne travaille pas, à proprement parler, en robotique, mais plutôt dans le contexte plus général du

comportement intelligent des machines. On se doute bien que les recherches en robotique devront éventuellement tenir compte des résultats provenant d'autres disciplines reliées à l'intelligence artificielle, qui actuellement ne semblent pas être pertinents. Les personnes intéressées peuvent visiter le Laboratoire en tout temps (sur rendez-vous); la direction du Laboratoire se fera un plaisir de vous faire parvenir les rapports et articles techniques que vous demanderez.

IV) Références bibliographiques

On ne trouvera ici que les articles concernant la vidéo-informatique; la liste ci-après n'est donc pas la liste complète de toutes les publications du Laboratoire sur l'intelligence artificielle.

Articles de revues et chapitres de livres

1. Fleet, D.J., Hallett, P.E., Jepson, A.D., Spatio temporal inseparability in early visual processing, Biological Cybernetics (soumis).

2. Gershon, R., Aspects of perception and computation in colour vision, Computer Vision, Graphics and Image Processing, (à paraître).

3. Jenkin, M., Tsotsos, J.K., Applying temporal constraints to the dynamic stereo problem, Computer Vision, Graphics and Image Processing, (à paraître).

4. Jenkin, M., Tracking three-dimentionsal moving light displays, in: Motion: Representation and Perception, Badler et Tsotsos (rédacteurs), ACM Publications, (sous presse) 1985.

5. Tsotsos, J.K., A relaxation process for the temporal integration of time-varying matching evidence, IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, (soumis).

6. Tsotsos, J.K., The scope of research on motion: sensational, perception, representation and generation, in: Motion: Representation and Perception, Badler et Tsotsos (rédacteurs), ACM Publications, (sous presse), 1985.

7. Tsotsos, J.K., Representational axes and temporal cooperative processes, in: Vision, Brain and Cooperative Computation, Arbib et Hanson (rédacteurs), (sous presse), MIT Press/Bradford Books, 1985

8. Tsotsos, J.K., Covvey, H.D., Mylopoulos, J., McLaughlin, P., The role of symbolic processing in the computer evaluation of left ventricular wall motion: the ALVEN system, Ventricular Wall Motion, U. Sigwart et P. Heintzen (rédacteurs), Georg Thieme Verlag, 1984.

9. Tsotsos, J.K., The computer assessment of left ventricular wall motion: the ALVEN Expert System, Computers and BioMedical Research, (à paraître).

10. Tsotsos, J.K., The role of knowledge organization in representation and interpretation of time-varying data: the ALVEN system, Computational Intelligence, févr. 1985.

11. Tsotsos, J.K., The scope of motion research: from image intensity changes to semantic abstractions, Computer Graphics vol. 18, n° 1, p. 7-11, janv. 1984.

12. Tsotsos, J.K., Knowledge and the visual process: content, form and use, pattern recognition, livraison spéciale sur la vision basée sur la connaissance, Vol. 17, No. 1, p. 13-26, janv. 1984.

13. Tsotsos, J., Mylopoulos, J., Covvey, H.D., Zucker, S.W., A framework for visual motion understanding, IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, Livraison spéciale sur l'analyse informatique des images chronologiques, p. 563-573, nov. 1980.

Articles cités dans des comptes rendus de congrès

1. Fleet, D.J., How good is the DOG as a model of retinal processing?, Congrès international mixte sur l'intelligence artificielle - 85, (soumis).

2. Fleet, D.J., Jepson, A.D., On the detection of 2-d velocity, Congrès international mixte sur l'intelligence artificielle - 85, (soumis).

3. Gershon, R., Empirical results with a model of color vision, Compte rendu du Congrès de la IEEE sur la vidéo-informatique et la reconnaissance des formes, San Francisco, CA. 1985.

4. Jenkin, M.R.M., Applying temporal constraints to the problem of stereopsis of time-varying imagery, Compte rendu du Cinquième Congrès national de la Société canadienne des études informatiques en intelligence, London (Ontario), 1984.

5. Jenkin, M.R.M., Tracking three-dimensional moving light displays, Compte rendu de l'atelier SIGARTSIGGRAPH ACM 1983 sur le mouvement, Toronto, 1983.

6. Levy-Mandel, A.D., Tsotsos, J.K., Venetsanopoulos, A.N., Knowledge-based landmarking of cephalograms, Compte rendu du Colloque de 1984 sur les communications, juin 1984, Kingston (Ontario).

7. Tsotsos, J.K., Jepson, A.D., Fleet, D.J., Motion understanding meets early vision: an introduction, Congrès de l'IEEE sur les applications de l'intelligence artificielle, Denver, pp. 239-244, déc. 1984.

8. Tsotsos, J.K., Cooperative computation and time, Atelier de l'IEEE sur la vidéo-informatique : représentation et commande, Annapolis, p. 231-237, mai 1984.

9. Tsotsos, J.K., Knowledge of the visual process: content, form and use, Actes du Congrès international sur la reconnaissance des formes, Munich, p. 654-669, oct. 1982.

10. Tsotsos, J.K., Temporal event recognition: an application to left ventricular performance, Actes du Congrès international mixte sur l'intelligence artificielle, Vancouver (C.-B.), p. 900-907, août 1981.

11. Tsotsos, J.K., On classifying time-varying events, Compte rendu sur la reconnaissance des formes et le traitement d'images, Dallas, p. 193-199, août 1981.

12. Tsotsos, J., Mylopoulos, J., Covvey, H.D., Zucker, S.W., ALVEN: a study on motion understanding by computer, Actes du Congrès international mixte sur l'intelligence artificielle, Tokyo, p. 890-892, août 1979.

13. Tsotsos, J., Knowledge-base driven analysis of cinecardioangiograms, Actes du Cinquième Congrès international mixte sur l'intelligence artificielle, MIT, Cambridge, Mass., p. 699, août 1977.

14. Tsotsos, J., Some notes on motion understanding, Actes du Cinquième Congrès international mixte sur l'intelligence artificielle, MIT, Cambridge, Mass., p. 611, août 1977.

Livres édités

1. Badler, N.I., Tsotsos, J.K., Motion: Representation and Perception, ACM Publications, (sous presse), 1985.

2. Tsotsos, J.K., Machine Understanding of Visual Motion, for the Robotics Series, T. Kanade (réd.), Kluwer Academic Publishers, Deventer, les Pays-Bas, (en préparation).

Rapports techniques d'informatique

Rapports techniques du Département

Abréviations

LCM - Laboratoire de médecine informatique

RBCV - Recherche en vision biologique et en vidéo-informatique
CSRG - Groupe de recherche en informatique

1. Barron, J., A survey of approaches for determining optic flow, environmental layout and egomotion, RBCV-TR-85-5, mars 1985.

2. Fleet, D.J., The early processing of spatio-temporal visual information, TBCV-TR-84-7, mars 1985.

3. Fleet, D.J., Jepson, A.D., A cascaded filter approach to the construction of velocity selective mechanisms, RBCV-TR-84-6, mars 1985.

4. Fleet, D.J., Jepson, A.D., Hallett, P.E., A spatio-temporal model for early visual processing, RBCV-TR-84-1, mai 1984.

5. Gerhson, R., Survey on color -- Aspects of perception and computation, RBCV-TR-84-4, 1984.

6. Jenkin, M.R.M., The stereopsis of time-varying imagery, RBCV-TR-84-3, 1984.

7. Tsotsos, J.K., Bylopoulos, J., Shibahara, T., Research on knowledge-based systems: PSN, ALVEN, and CAA, LCM-TR84-1, mai 1984.

8. Tsotsos, J.K., A framework for visual motion understanding, CSRG TR-114, 1980.

9. Tsotsos, J., A prototype motion understanding system, TR-93, 1976.

10. Tsotsos, J., Representational axes and temporal cooperative processes, RBCV-TR84-2, mai 1984.

Mémoires

1. Air, J., The grouping of primitive visual tokens (M.Sc. 1985).

2. Down, B., Using feedback in motion understanding (M.Sc. 1983).

3. Fleet, D., The early processing of spatio-temporal visual information (M.Sc. 1984).

4. Jenkin, M., The stereopsis of time-varying imagery (M.Sc. 1984).

5. Levy-Mandel, A., Knowledge-based landmarking of cephalograms (M.Sc. 1984).

6. Lobo, N., Directionally-selective, velocity-sensitive motion detection (M.Sc. 1985).

7. Tsotsos, J.K., A prototype motion understanding system (M.Sc. 1976).

Thèses et mémoires en cours de rédaction

1. Barron, J., Computing egomotion and environmental layout time-varying errorful image velocities (Ph.D., de janvier 1980 jusqu'à présent)

2. Buchanan, C., Attentive vision models and their interaction with early processes (M.Sc., de septembre 1984 jusqu'à présent).

3. Dudek, G., Analysis of spatio-temporal cooperative computation (Ph.D., de janvier 1984 jusqu'à présent).

4. Gershon, R., Colour perception and computation (Ph.D. de septembre 1982 jusqu'à présent).

5. Jenkin, M., Visual stereoscopic computation (Ph.D., de septembre 1983 jusqu'à présent).

6. Lobo, N., Early cooperative processes in vision (Ph.D., de septembre 1984 jusqu'à présent).

7. Marcus, H., Texture perception (Ph.D., de septembre 1982 jusqu'à présent).

8. Stanley, D., Expert vision systems for remote-sensing applications (M.Sc., le septembre 1984 jusqu'à présent).

UNIVERSITÉ DE WATERLOO

Département du génie de conception des systèmes

Groupe d'analyse des formes et d'intelligence artificielle

Waterloo (Ontario)
N2I 3G1

Professeur A.K.C. Wong
(519) 885-1211
Télex : 069-55259

I) Renseignements sur le cadre de recherche

Historique et développement

Le Laboratoire d'analyse des formes et d'intelligence artificielle a été créé en 1980 en vue de fournir aux chercheurs en analyse des formes et en intelligence artificielle les locaux et les équipements nécessaires. Au cours des deux années qui ont suivi, ce Laboratoire s'est vu attribuer une subvention pour achat d'équipement important du CRSNG et une subvention pour achat d'équipement du même organisme, subventions qui lui ont permis d'acquérir un système de traitement et d'affichage d'images de même qu'un VAX 11/750. L'obtention d'un contrat de recherche et d'une subvention CLDI lui a permis ensuite d'acheter d'autres machines de calcul et installations d'infographie. À la suite de ces achats, les activités de recherche du Laboratoire n'ont cessé de se développer. En 1981, le Laboratoire, de concert avec cinq autres groupes de recherche, a travaillé à la planification et à l'organisation de l'Institut de recherche informatique (Université de Waterloo). Depuis cette date, ce Laboratoire n'a cessé de se consacrer, d'ailleurs avec un certain succès, à la promotion des activités de l'Institut et au transfert de la haute technologie au secteur industriel.

Équipements

On retrouve dans les locaux du groupe d'analyse des formes et d'intelligence artificielle les équipements suivants : a) plusieurs robots (notamment un robot mobile doté de la vision et d'un bras flexible qui en est actuellement à l'état de la mise au point); b) un VAX 11/780, un VAX 11/750, un IBM 4342, plusieurs MICRO VAX et des ordinateurs IBM PC/XT; c) un système d'affichage d'images Grinnell; d) un système de balayage d'images à haute résolution EIKONIX; e) plusieurs numériseurs vidéo; f) un enregistreur graphique couleur Matrix; g) un système FPS-100E et h) divers postes de travail graphiques.

Provenance du financement et sommes versées

Le financement est assuré par le CRSNG, au moyen de subventions d'exploitation, de subventions stratégiques et de subventions d'infrastructure, de même que par des contrats accordés par le CNRC et Taran Furs. Le financement total annuel pour la recherche se chiffre à 800 000 $.

Projets d'expansion

En 1986, ce Laboratoire ainsi que tous ses équipements seront déménagés dans l'immeuble de la recherche informatique William Davis, en cours de construction. Actuellement, ce Laboratoire participe à la planification et à la formation d'un autre centre, qui se trouvera dans les locaux de l'Université et qui se consacrera à la fabrication intégrée par ordinateur : le WATCIM (Fabrication intégrée par ordinateur de Waterloo). Un important projet du groupe est d'élaborer une technologie sophistiquée concernant la reconnaissance des formes et l'intelligence artificielle et destinée à la cinquième génération des ordinateurs, au traitement d'images et à la robotique, puis de la transférer à l'industrie.

II) **Renseignements sur le personnel**

Directeur :	A.K.C. Wong	analyse de formes, intelligence artificielle, vidéo-informatique, systèmes basés sur la connaissance, robotique.
Professeurs :	M.E. Jernigan	reconnaissance de forme, traitement de signaux et d'images, vidéo-informatique.
	M.S. Kamel	systèmes experts, robovision et système de bureautique pour la planification des tâches, logiciel mathématique.
	H.C. Shen	analyse de texte, systèmes basés sur la connaissance, système d'information d'images intelligent, langage et commande de robot.
	G. Savage	modèles discrets de problèmes de champ et de physique du continu, conception assistée par ordinateur.
	K. Singhal	CAO de circuits de systèmes linéaire et non linéaire, méthodes informatiques de conception optimale de produits, VLSI, simulation.
	B. Wills	instruction assistée par ordinateur, musique informatique, simulation de systèmes.

Professeur affilié :	M. Vidyasagar	théorie de la commande, commande de robot.

Il y a également au Laboratoire un administrateur du Laboratoire, deux secrétaires, un ingénieur constructeur, un ingénieur en logiciel et trente-cinq étudiants (quinze au niveau du doctorat et vingt au niveau de la maîtrise).

III) Activités de recherche

Disciplines de recherche

Les disciplines de recherche sont : la reconnaissance des formes (Wong, Jernigan), l'intelligence artificielle (Wong, Shen), les systèmes basés sur la connaissance (Wong, Kamel, Shen), la conception assistée par ordinateur (Savage, Singhal, Wills), le traitement d'images (Jernigan, Shen), la robot-vision et la commande de robot (Wong, Jernigan, Kamel, Shen, Vidyasager) et la fabrication flexible (tous).

Objectifs de recherche

Le Laboratoire d'analyse des formes et d'intelligence artificielle a comme principale mission de perfectionner les techniques actuelles de reconnaissance des formes et d'intelligence artificielle en vue, surtout, de leur application aux ordinateurs de cinquième génération, aux systèmes basés sur la connaissance et à la robotique. À cette mission principale se greffe également celle de former les ressources humaines en recherche et en développement de haute technologie, particulièrement dans le domaine de l'intelligence artificielle et la robotique. Une dernière mission est de promouvoir le transfert de technologie entre les universités et les entreprises.

Domaines de spécialisation

Les chercheurs du Laboratoire se spécialisent en reconnaissance des formes, en intelligence artificielle, en vidéo-informatique, en systèmes basés sur la connaissance, en conception assistée par ordinateur et en systèmes de commande de robot.

Principales réalisations à ce jour

Peut-être n'y a-t-il pas de meilleure façon de résumer les réalisations accomplies que de donner les statistiques que voici : depuis 1981 les recherches liées à la robotique ont généré plus de trente articles cités, ont décroché pour près d'un million de dollars de contrats avec l'industrie et ont permis d'obtenir une subvention stratégique de trois années d'un million de dollars pour la robovision et la commande de robots.

Principaux logiciels rédigés ou utilisés

Les principaux logiciels rédigés et utilisés intensivement sont : a) un progiciel de reconnaissance des formes; b) un progiciel d'analyse des formes utilisant des valeurs discrètes et des données discrètes et continues; c) un

progiciel de traitement d'images; d) un progiciel d'homorphismes graphiques; e) un algorithme de synthèse graphique aléatoire; f) la planification de trajectoire et de chemin pour robots mobiles; g) des algorithmes de reconnaissance et de synthèse d'objets tridimensionnels; h) un progiciel de commande interactive de robots; i) un progiciel intégré de systèmes basés sur la connaissance; j) un progiciel de simulation de bureautique et k) un progiciel infographique.

Groupements avec lesquels le Laboratoire est en communication

Des liens très étroits existent avec les groupements que voici : a) Ontario Robotic Center, b) CNRC Ottawa, c) Département de génie électrique, Université du Québec à Hull, d) The Robotic Institute, Université Carnegie Mellon, e) NRC Canada Ltd., f) Taran Furs (Montréal) Ltd., g) General Motor, i) Digital Equipment Corporation, j) Société IBM et k) Les recherches Bell-Northern.

IV) Références bibliographiques

Les publications touchant la recherche en robotique sont au nombre de quarante-cinq : trente articles cités, dix publications diverses et cinq articles soumis. En voici quelques-unes :

1. Jernigan, M.E., Wardell, R.W., Does the eye contain optimal edge detection mechanisms?, IEEE Trans. Sys. Man and Cyb., Vol. SMC-11, No. 6, 441-444, 1981.

2. Jernigan, M.E., D'Astous, F., Entropy based texture analysis in the spatial frequency domain, Congrès IEEE 1980 sur la cybernétique et la société, 1980.

3. Kamel, M.S., Knowledge acquisition using pattern recognition techniques, Compte rendu du Congrès sur les machines et les systèmes intelligents, Rochester, 1984.

4. Shen, H.C., Wong, A.K.C., Generalized texture representation and Metric, Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 23, 1983, pp. 187-206.

5. Signarowski, G.F.P., Shen, H.C., Development of an interface between a robot programming system and its environment, Actes du Congrès international sur la cybernétique et la société, Halifax, 1984.

6. Vannelli, A., Vidyasagar, M., Maximal Lyapunov functions and domains of attraction for autonomous nonlinear systems, à paraître dans Automatica, p. 34, accepté le 4 avril 1983.

7. Wong, A.K.C., You, M.L., Entropy and distance of random graphs with application to structural pattern recognition, à paraître dans IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1985.

8. Wong, A.K.C., Lu, S.W., Representation of 3-D objects by attributed hypergraphs for computer vision system, Actes du Congrès international de 1983 sur les systèmes, l'homme et la cybernétique, pp. 49-53, 1983.

9. Wong, A.K.C., Grahraman, D.E., Random graphs: structural-contextural dichotomy, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-2, n° 4, pp. 341-348, 1980.

UNIVERSITÉ WESTERN ONTARIO

Faculté de génie

Laboratoire de robotique

London (Ontario)
N6A 5B9

Professeur J.A. MacDonald
(519) 679-3894

I) Résumé

C'est en 1981 que débutèrent les recherches en robotique sous la direction du professeur MacDonald alors chargé de quatre étudiants. Un robot de transfert ayant une fonction de détection optique fut conçu et créé pour le Laboratoire de robotique. Lors de l'étape de la conception, il a fallu mettre au point le logiciel, l'interface, l'analyse cynématique et les caractères de sécurité.

Au Laboratoire de robotique, on trouve l'équipement suivant : un ordinateur Dec-10, des ordinateurs personnels pouvant accéder aux ordinateurs Cyber et Prime 500, de même que le robot de transfert dont on a déjà parlé ("Xylvia"). Actuellement, différents dispositifs de robotique sont en construction au Laboratoire.

La principale préoccupation du docteur MacDonald est la discipline des interfaces de robots. Ses études portent sur la mise au point de capteurs, la modélisation cynématique, la reconnaissance des formes et les prothèses. Il s'occupe également de la commande par réaction et de la reconnaissance des formes. La majeure partie des travaux exécutés concernent les problèmes de transfert de matériaux, de transfert de pièces et les opérations d'assemblage. Un certain nombre d'étudiants des deuxième et troisième cycles effectuent des travaux de recherche en robotique.

II) Références bibliographiques

1. MacDonald, J.A., A Microprocessor controlled robotic arm manipulator, Compte rendu du neuvième Congrès canadien de mécanique appliquée, Université de la Saskatchewan, Saskatoon, 1983.

2. MacDonald, J.A., XYLVIA - A Pick and Place robot, CAD/CAM and Robotics, octobre 1983.

UNIVERSITÉ CONCORDIA

Département de génie mécanique

Centre de commande industrielle

Campus Sir George William - pavillon B
1455 ouest, boul. de Maisonneuve
Montréal (Québec)
H3G 1M8

Professeur R.M.H. Cheng
(514) 879-4552

I) Renseignements sur le centre de recherche

Historique et développement

Anciennement, le CENTRE DE COMMANDE PAR FLUIDE - centre d'excellence créé au moyen d'une subvention de développement du CNRC en 1973 - le Centre de commande industriel (instauré en 1983) offre aux professeurs et aux étudiants en maîtrise et au niveau du doctorat du Département de génie mécanique de l'Université Concordia les équipements nécessaires à des travaux de recherche et de développement en commande et en automatisation. Ce Centre a également pour mission de transférer la technologie développée à des entreprises locales.

Équipements

Robots : Unimation PUMA 560, Rhino XR-2, Armdroïd, robot pneumatique élaboré sur place, véhicule à guidage automatique (en cours de réalisation).

Ordinateurs : DEC PDP-11, Sage IV (micro-ordinateur à 16 bits), Northstar Horizon (8 bits), Northstar Advantage (8/16 bits), Rainbow 100 (16 bits), IBM-PC, Intel System 310, VAX 780 (couplé à un système graphique Norpak), système 820/830 CDC (ordinateur de l'Université).

Provenance du financement et sommes versées (pour 1984-1985 seulement)

Subventions de poursuite de recherches personnelles du CRSNG	209 696 $
Subventions stratégiques CRSNG (Stepanenko et T.S. Sankar)	57 100 $
Subventions d'infrastructure CRSNG (Cheng, S. Sankar, etc.)	45 000 $
Subventions FCAC accordées au Centre (Kwok, Cheng, etc.)	20 000 $
Subventions d'achat d'équipement CRSNG (Krepec, Cheng)	43 600 $
Subventions PRAI du CRSNG (Svoboda, etc.)	193 500 $
TOTAL (pour 1984-1985 seulement)	568 896 $

Clientèle

Ministère d'Approvisionnements et Services
Transports Canada
Autres organismes de financement
Entreprises privées

II) Renseignements sur le personnel

Chercheurs principaux

Dr R.M.H. Cheng	Professeur directeur CCI	automatisation industrielle
Dr C.K. Kwok	Professeur	commande par fluide
Dr T. Krepec	Professeur associé	commande par fluide
Dr T.S. Sankar	Professeur et chef, Département de génie mécanique	vibration mécanique, robotique
Dr Y. Stepanenko	Professeur	robotique
Dr J. Svoboda	Professeur associé	simulateur de vol

Chercheurs associés

Y. Courbet	Assistant de recherche	vision par caméra, véhicule guidage automatique
Dr M.A. Daoud	Assistant de recherche	robotique
Dr A.E.F. Fahim	Professeur adjoint auxiliaire	systèmes de commande
H. Hong	Assistant de recherche	robotique
N. Krouglicoff	Assistant de recherche	électronique, commande et surveillance vidéo en ligne
Dr S. LeQuoc	Professeur associé auxiliaire	robotique, électro-hydraulique

D.K.H. Leung	Assistant de recherche	électrohydraulique
T. Montor	Assistant de recherche	synchronisation de robot, commande
R. Rajagopalan	Assistant de recherche	robotique
M. Surpaceanu	Assistant de recherche	génie mécanique

III) Activités de recherche

Disciplines de recherche (avec exemples dans les principaux domaines)

- Véhicule à guidage automatique - très probablement le plus ancien et le seul groupe de recherche canadien intéressé à la recherche et au développement d'un véhicule de capacité moyenne à guidage automatique (charge utile 150 kg) doté d'une caméra de vision peu coûteuse et d'une commande numérique en ligne.
- Commande de synchronisation d'un robot industriel ayant un système de convoyeur - Au moyen d'une caméra bon marché, le système décèle l'orientation et le changement de position d'un objet déchargé par le convoyeur. La commande de synchronisation déclenche le déplacement du manipulateur du robot afin qu'il saisisse l'objet (ou effectue un autre traitement).
- Simulation dynamique d'un manipulateur de robot en recourant à la solution système.

Orientations et objectifs principaux de la recherche

Élaboration de systèmes de haute technologie peu coûteux et de techniques d'amélioration de la productivité (fabrication).

Principales réalisations à ce jour

Le CCI, de par sa vocation de centre de recherche et de développement en robotique et dans des domaines connexes, s'est acquis une bonne réputation auprès des entreprises locales. L'acquisition d'un robot AUTOMATION PUMA 560 et des accessoires nécessaires et le don par INTEL CORP du calculateur system 310 et de ses périphériques ont énormément renforcé la capacité du Centre de mener à bien des recherches en robotique dans les domaines pertinents.

Principaux logiciels rédigés ou utilisés

- Logiciel d'interface entre la caméra de balayage linéaire et le bus S100.
- Logiciel d'exploitation de la caméro Micro-eye pour sa commande par le Northstar Advantage.
- Logiciel de détermination de l'orientation d'une classe d'objets à l'aide d'images binaires à deux dimensions.

- Programme de commande et d'analyse d'un modèle mathématique du robot Rhino.
- Simulations interactives de manipulateurs de robots avec présentations graphiques (mises en oeuvre dans le VAX 780).

Groupements avec lesquels le CCI est en communication

- L'école de technologie supérieure, Montréal (Qué.)
- DSL-Dynamic Sciences Ltd., Saint-Laurent (Qué.)
- CAE Electronics, Saint-Laurent (Qué.)
- Université d'Ottawa, Ottawa (Ont.)

Place dans le milieu de la recherche en robotique

Le Centre désire se consacrer aux applications de haute technologie faisant usage d'équipements peu coûteux et d'algorithmes simples. Son but est de compléter les travaux des organismes qui désirent venir en aide aux petites et moyennes industries afin d'augmenter leur productivité et la qualité des produits fabriqués.

Participation au Forum mixte de coordination sur la coopération internationale en robotique avancée

Le Centre est prêt à participer à la planification générale de recherches en robotique, à effectuer des tâches particulières ou à aborder des disciplines de recherche. Les projets qui l'intéressent le plus actuellement concernent les recherches sur un véhicule à guidage automatique (muni de fonctions de vision par caméra), sur la commande de la synchronisation en robotique (muni de convoyeurs) et, enfin, sur l'étalonnage statique et dynamique de robots industriels dans diverses conditions d'alimentation. Un autre domaine qui l'intéresse est la robotique sousmarine.

IV) Références bibliographiques

1. Cheng, R.M.H., Harris, O.G., A power bond graphs approach for modelling pneumatic control systems, Journal of Fluid Control, publication acceptée, 1985.

2. Cheng, R.M.H., LeQuoc, S., Athanasoulias, D., On-line system for locating the position of the centroid of a flat object, Neuvième Congrès canadien sur la mécanique appliquée, 1982.

3. Fahim, A.E.F., Cheng, R.M.H., On line system for identifying the angular orientation of a class of engineering components, Transactions of IEEE, Industrial Electronics and Control Instrumentation, vol. IECI-17, No.3, 1980.

4. Fahim, A.E.F., Sankar, S., Cheng, R.M.H., Computer-aid optimal design of a polar-based, NC coutouring system: synthesis and contouring error

minimization, ASME Winter Annual Meeting, Boston, Paper No. 83-DET-62, 1983.

5. Lee, R.S., R.M.H. Cheng, Table positioning by a dual purpose probe, Actes du Quatrième Congrès international sur l'automatisation de l'assemblage, Tokyo, 1983

6. LeQuoc, S., Cheng, R.M.H., Kelly, M., A high level computer-aided language for the design and simulation of logic control systems, Computer in Engineering, Vol.4, pp. 27-32, ASME 1982.

7. LeQuoc, S., Cheng, R.M.H., Limaye, A., A new tuneable electrohydraulic servovalve configuration to achieve high velocity, fast response and high damping, ASME '84 Winter Annual Meeting, Paper No. 84-WA/DSC-11.

8. Mongeon, M., Design and development of a microprocessor control for a blood testing machine, n° de rapport CCI-0001, septembre 1984.

9. Stephanenko, Y., Sankar, T.S., On dynamic simulation of robotic manipulators, Compte rendu de la Conférence et de l'Exposition internationales ASME 1984 - l'ordinateur en génie, Las Vegas, Nevada, août 1984.

10. Stepanenko, Y., Sankar, T.S., On the accuracy of force-reflecting of master-slave manipulators for hazardous environment, Compte rendu du Congrès annuel 1984 de la CSME, Halifax, Nouvelle-Écosse, mai 1984.

11. Stepanenko, Y., Sankar, T.S., Position and force-reflecting accuracy of remote manipulators, Transactions CSME, publication acceptée.

12. Stepanenko, Y., Sankar, T.S., Limit cycles in compliant actuators due to clearances in kinematic chains, Compte rendu de la Réunion annuelle d'hiver de 1984 de la ASME, Nouvelle-Orléans, Louisiane, du 9 au 14 décembre 1984 (reproduite également dans la publication ASME n° G00275).

Rapports techniques

1. Athanasoulias, C., Cheng R.M.H., LeQuoc, S., User Manual for the Circuit Simulation Program (CSP), n° de rapport CCI-0006, septembre 1984.

2. Courbet, Y., Camera/Microcomputer Interface for Automatic Guided Vehicles, n° de rapport CCI-0007, septembre 1984.

3. Leung, D.K.H., Simulation and Analysis of a New Tunable Electro-Hydraulic Servovalve Configuration by Small Perturbation Method, n° de rapport, CCI-0005, septembre 1984.

4. Limaye, A., Hydraulic Servovalve Configuration, n° de rapport CCI-0003, septembre 1984.

5. Montor, T., Robotic Assembly with Camera Vision, n° de rapport CCI-0004, septembre 1984.

6. Surpaceanu, M., Design of an Automatic Guided Vehicle, n° de rapport CCI-0002, septembre 1984.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

(Université de Montréal)

Département de génie mécanique

C.P. 6079, Succursale A
Montréal (Québec)
H3C 3A7

Professeur R. Baldur
(514) 340-4861

I) Résumé

Ce Département a effectué pour la première fois des recherches en robotique à la fin de 1982. Les principaux chercheurs sont les professeurs R. Baldur et A. Bazergui qui dirigent huit étudiants aux études supérieures s'occupent également de recherche en robotique. Parmi les équipements, on trouve deux robots élaborés au Département et plusieurs types d'ordinateurs.

Les objectifs de recherche sont : réduire le prix des robots, simplifier la technique de commande, élaborer des pinces en mesure de prendre des objets délicats et réaliser des véhicules autonomes et automatiques. Pour ce faire, les disciplines de recherches abordées sont : les manipulateurs pneumatiques commandés par ordinateur, les manipulateurs gonflables, des pinces pneumatiques et à détection d'efforts et la commande d'actionneur hydraulique.

II) Références bibliographiques

1. Baldur, R., An inexpensive robot for mechanical engineering students, Congrès Robots 8 - Detroit, juin 1984.

2. Baldur, R., Design of an experimental automatically guided vehicle, Congrès sur la CAO/FAO et la robotique, Toronto, juin 1984.

3. Baldur, R., Trajectory optimization of a guided vehicle, Symposium EAM, juin 1984.

4. Baldur, R., Hydraulic control of pneumatic actuators, Congrès sur la CAO/FAO et les robots, Toronto, juin 1984.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

(Université de Montréal)

Département de génie électrique

Le Laboratoire de robotique

Montréal (Québec)
H3C 3A7

Professeur R.M. Desantis
(514) 340-4552

I) Résumé

Le personnel du Laboratoire de robotique mène depuis environ six ans des recherches liées à la robotique. Au début, il ne s'intéressait qu'à l'aspect théorique d'où son intérêt pour des sujets comme la commande décentralisée, les systèmes hiérarchiques et l'optimisation. La création de ce Laboratoire a graduellement amené ces personnes à s'occuper de recherches plus techniques et plus expérimentales. Notamment : la modélisation, la simulation dynamique et graphique de robots, la vidéo-commande de robots, la conception d'actionneurs et la rédaction d'algorithmes de commande.

Les équipements de recherche du Laboratoire sont : deux robots Rhino XR-1, un système de vision Matrox, plusieurs micro-ordinateurs, des actionneurs et des contrôleurs programmables. En outre, le Laboratoire de conception assistée par ordinateur dispose d'un PDP 11/60, d'un VAX 11/750 et de plusieurs terminaux graphiques qui sont à la disposition du Laboratoire de robotique. Le financement pour l'achat d'équipements provient du ministère de l'Éducation du Québec, du Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada et de la Direction de la recherche de l'École polytechnique. Un des projets d'expansion est l'achat d'un robot industriel et d'un ordinateur IBM-AT.

Les projets de recherche auxquels se consacrent actuellement les étudiants (quatre au niveau de la maîtrise et deux au niveau du doctorat) et les professeurs concernent l'analyse d'images, la simulation graphique de robots, la commande de robots au moyen de la vision et de l'optimisation des trajectoires, les langages de programmation des robots et les bases de données associées, le matériel de simulation en temps réel et l'application de l'intelligence artificielle à l'automatisation flexible.

Les groupements avec lesquels le Laboratoire garde des contacts sont : l'Institut de recherches de l'Hydro-Québec, le Laboratoire de génie des matériaux du Conseil national de recherches du Canada, Northern Telecom, le

Centre de recherche industrielle du Québec, le Laboratoire de robotique et d'automatisation de l'Université du Québec à Chicoutimi et le Laboratoire d'automatique et d'analyse des systèmes de Toulouse.

II) Références bibliographiques

Rien pour le moment.

UNIVERSITÉ McGILL

Département de génie mécanique

Groupe de la CAO et de la robotique

817 ouest, rue Sherbrooke
Montréal (Québec)
H3A 2K6

Professeur P.J. Zsombor-Murray
(514) 392-5480
télex : 05-268-510

I) Renseignements sur le cadre de recherche

Historique et développement

Ce groupe travaille sur l'automatisation mécanique assistée par ordinateur depuis 1969, à l'époque où il constituait le Laboratoire d'informatique DATAC. C'est en septembre 1984 qu'a débuté un programme de recherches coordonnées, intégré au centre de robotique de McGill (le nom officiel reste à être décidé).

Équipements

Robot industriel à 5 axes commandé par ordinateur GMF/S1, ordinateur graphique et poste de travail CAO ORCAtech 3000, d'autre matériels de CAO comprenant des micro-ordinateurs et des périphériques graphiques, une fraiseuse à commande numérique automatisée miniature à 3 axes EMCO, un ordinateur d'automatisation de procédés à l'échelle industrielle CGE-Honeywell HS4020.

Provenance du financement et sommes versées (année en cours)

Subvention d'achat d'équipements par le Département : 84 000 $, subventions de recherche personnelle du CRSNG : 74 000 $, subventions d'un ministère d'État canadien pour mettre sur pied un centre de recherche en robotique à McGill : 700 000 $, FCAC (Québec) : 54 000 $ (demande faite), "Actions structurantes" (Québec) : 1 500 000 $ (demande faite).

Structure tarifaire pour les services extérieurs

Une structure tarifaire détaillée sera établie. Actuellement, les services de consultation en génie sur l'automatisation, la conception et l'analyse sont facturés à 100 $ de l'heure (taux maximal par chercheur principal).

II) Renseignements sur le personnel

Chercheurs principaux

J. Angeles	Professeur associé	cinématique et dynamique
A. Misra	Professeur associé	vibrations
M.P. Paidoussis	Professeur et chef du département	dynamique des systèmes
L.J. Vroomen	Professeur de faculté	instrumentation
P.J. Zsombor-Murray	Professeur associé	commande informatique

Chercheurs associés

K. Anderson	Titulaire de recherche	modélisation et commande de robot
P. Baracos	Titulaire de recherche	automate et commande
R. Bubic	Ingénieur de recherche	actionneurs
B. Chen	Titulaire de recherche	conception de manipulateur
X. Cyril	Assistant de recherche	automate et commande
R. Hudson	Titulaire de recherche	modélisation et commande de robots
M. Maschtall	Assistant de recherche	détection biomédicale
H. Qi	Titulaire de recherche	capteur de manipulateur
K. Spring	Assistant de recherche	modélisation et commande de robots
X. Wang	Titulaire de recherche	commande automatique
M. Zacharia	Assistant de recherche	simulation dynamique

III) Activités de recherche

Disciplines de recherches

Planification de trajectoire, commande informatique, modélisation et commandes cinématique et dynamique, capteurs et actionneurs/muscle artificiel.

Orientations et objectifs principaux de la recherche

Amélioration du rendement des robots grâce à une programmation de la trajectoire optimale, nouvelles configurations de robots, y compris l'utilisation de manipulateurs multiples en boucle fermée, et commande répartie des degrés de liberté du mouvement d'un robot.

Domaines de spécialisation

Opérations sur des trajectoires continues, systèmes reposant sur des données de capteurs, automates à décision binaire et autres contrôleurs programmables, enfin, actionneurs de robots.

Principales réalisations à ce jour

Rédaction d'un logiciel pour la modélisation cinématique et la modélisation dynamique et pour la planification de trajectoire, conception, élaboration et programmation d'une machine à décision binaire, capteur matriciel à

référence variable; muscle de squelette artificiel, saisie de données partagéeen temps réel et installation de commande.

Principaux logiciels rédigés ou employés

Programme de la cinématique de manipulateurs en série à 5 et 6 axes, programme de modélisation dynamique d'un manipulateur de robots à n-liens, programme de modélisation dynamique de systèmes mécaniques comprenant des liens flexibles, programme de commande cinématique de manipulateurs de robots en présence de singularités et de redondances, logiciel pour opération de transfert et compilateur d'un programme d'optimisation de la décision binaire.

Groupements avec lesquels le groupe de McGill est en communication

- Laboratoire de vidéo-informatique et de robotique, Université McGill
- Unité de recherche biomédicale, Université McGill
- École d'informatique, Université McGill
- Le Centre de microélectronique, Université du Manitoba

Place dans le milieu de la recherche en robotique

Ce groupe se propose de collaborer avec d'autres centres de recherche en robotique et les entreprises canadiennes concernées. Il croit que ses contributions à des applications de fabrication pourraient être importantes, particulièrement en ce qui a trait à la fabrication de matériels de commande et à la rédaction de logiciels de commande (pour des tâches comme le soudage, la palettisation et l'instrumentation de capteurs de surveillance).

Participation au Forum mixte de coordination de la coopération internationale en robotique avancée

Les projets auxquels le groupe accepterait de participer sont ceux sur :

- les systèmes de calcul automatique de la position et de l'orientation d'objets;
- la rédaction de logiciels d'opération de transfert;
- la rédaction de logiciels d'opérations sur trajectoire continue;
- la commande dynamique de manipulateurs de robots, de même que leur conception;
- des capteurs mécaniques de robots (de contact, d'effort et de glissement);
- des manipulateurs de robots multiples en boucle fermée cinématique;
- la commande de véhicules configurés (c'est-à-dire systèmes intrinsèquement instables);
- des véhicules à commande par ordinateur.

IV) Références bibliographiques

Articles dont le professeur Angeles est auteur ou co-auteur :

1. Angeles, J., Spatial kinematic chains, Analysis, Synthesis and Optimization, Springer-Verlag, Berlin, 1982.

2. Angeles, J., On the numerical solution of the inverse kinematic problem, à paraître dans la livraison d'été du The International Journal of Robotics Research, 1985.

3. Angeles, J., Iterative kinematic inversion of five-axis robot manipulators, rapport interne du Département de génie mécanique de l'Université McGill, 1985.

4. Angeles, J., Rojas, A., On the use of condition-number minimization and continuation in the iterative kinematic analysis of robot manipulators, Compte rendu du Cinquième Colloque IASTED sur la robotique et l'automatisation, New Orleans (LA), 1984.

5. Angeles, J., Habib, M., Numerical schemes for the kinematic control of redundant robot manipulators, présentation acceptée pour le 30^{e} Colloque international sur les miniordinateurs et les micro-ordinateurs et leurs applications, qui se tiendra à Montréal en 1985.

6. Angeles, J., Synthesis of plane curves with prescribed local geometric properties using periodic splines, Computer-Aided Design, 15(3):147-155, 1983.

7. Angeles, J., Alvarado, M.A., Curve synthesis with natural cubic splines, soumis à Computer-Aided Design, 1984.

8. Angeles, J., Chaoming, Z., Duarte, R., Ning, H. Reducing area and volume integrals to line integrals, soumis à Computer-Aided Design, 1985.

9. Angeles, J., Callejas, M., An algebraic formulation of Grashof's mobility criteria with application to linkage optimization using gradient-dependent methods, J. Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design: Trans. ASME, 106: 327-332, 1984.

10. Angeles, J., Lopez-Cajun, C., Optimal synthesis of translating-follower CAM mechanisms with prescribed functional constraints, Colloque int. sur la conception et la synthèse, Tokyo, 1984.

11. Angeles, J., Lopez-Cajun, C., Optimal synthesis of oscillating roller-follower cam mechanisms with prescribed function constraints, Compte rendu du Congrès ASME sur les ordinateurs en génie, Las Vegas, 1984.

12. Angeles, J., Optimum synthesis of planar, spherical and spatial linkages for approximate function generation, soumis à Mechanism and Machine Theory, 1984.

En préparation

1. Angeles, J., A general procedure for mobility analysis of linkages.

2. Angeles, J., Linkage synthesis for minimum design error with maximum transmission quality, under mobility constraints.

Articles dont les professeurs Zsombor-Murray et Vroomen sont les auteurs ou les co-auteurs :

1. Hudson, R., Vroomen, L.J., Zsombor-Murray, P.J., Operating system for hybrid BD/microprocessor programmable controller, International Journal of Mini and Microcomputers, 4(3):58-62, 1982.

2. Levi, M.H., Vroomen, L.J., Zsombor-Murray, P.J., Modular programmable controllers using an intelligent reflexive interface, International Journal of Mini and Microcomputers, 5(1):1-6, 1983.

3. Zsombor-Murray, P.J., Vroomen, L.J., Hudson, R., Authors reply to "Comments" on binary-decision based programmable controllers by Dr. D.J. Stewart", sera publié dans IEEE Micro, février 1985.

4. Zsombor-Murray, P.J., Vroomen, L.J., Le-Ngoc, T., Authors reply to "Comments on binary-decision based programmable controllers by Mange, Sanchez and Tayse", sera publié dans IEEE Micro, février 1985.

5. Zsombor-Murray, P.J., Vroomen, L.J., Le-Ngoc, T., Hudson, R., Holk, P., Binary-decision (BD)-based programmable controllers: concept, design and applications, Part 3, IEEE Micro, 3(5):16-26 octobre 1983.

6. Zsombor-Murray, P.J., Vroomen, L.J., Le-Ngoc, T., Hudson, R., Holk, P., Binary-decision (BD) based programmable controllers: concept, design and applications, Part 2, IEEE Micro, 3(5):16-26, octobre 1983.

7. Zsombor-Murray, P.J., Vroomen, L.J., Le-Ngoc, T., Hudson, R., Holk, P., Binary-decision (BD) based programmable controllers: concept, design and applications, Part 1, IEEE Micro, 3(4):67-83, août 1983.

Communications parues dans des actes et des comptes rendus

1. Bubic, R.F., Vroomen, L.J., Zsombor-Murray, P.J., A hydropneumatic artificial skeletal muscle-like robotic actuator, Congrès CAN/CAM 1985, sur la mécanique appliquée, London, juin 1985.

2. Hudson, R., Zsombor-Murray, P.J., Vroomen, L.J., Operating system for

BD/microprocessor programmable controller, Colloque international MINI 1982 sur les miniordinateurs et les micro-ordinateurs et sur leurs applications, Cambridge, Code de presse ACTA : 47, ISBNO-88986-037-8, pp. 1-4, juillet 1982.

3. Kucuk, A.C., Zsombor-Murray, P.J., Vroomen, L.J., Process control using a BD/microprocessor hybrid, Colloque international MINI 1982 sur les miniordinateurs et les micro-ordinateurs et sur leurs applications, Cambridge, Code de presse ACTA : 47, ISBNO-88986-037-8, pp. 5-7, juillet 1982.

4. Kucuk, A.C., Vroomen, L.J., Zsombor-Murray, P.J., A binary decision controlled robotic balancer, Congrès CAN/CAM 1983 de mécanique appliquée, ISBNO-920049-00-1, Saskatoon, pp. 855-856, mai 1983.

5. Levi, M.H., Vroomen, L.J., Zsombor-Murray, P.J., Computerized batch weighing systems using binary-decision based intelligent reflexive interface modules, Colloque international MINI 1983 sur les mini-ordinateurs et les micro-ordinateurs et sur leurs applications, Lugano, Code de presse ACTA : 56, ISBNO-88986-047-5, pp. 83-87, juin 1983.

6. Levi, M.H., Vroomen, L.J., Zsombor-Murray, P.J., Modular programmable controllers using an intelligent reflexive interface, Colloque international MINI 1982 sur les miniordinateurs et les micro-ordinateurs et sur leurs applications, Cambridge, Code de presse ACTA : 47, ISBNO-88896-037-4, pp. 140-144, février 1984.

7. Levi, M.H., Vroomen, L.J., Zsombor-Murray, P.J., IRI based multiprocessor system for the evaluation of a comprator matrix with variable reference, Compte rendu du Congrès IASTED sur la modélisation, l'identification et la commande, Innsbruck, Code de presse ACTA : 63, ISBNO-88986-056-4, pp. 140-144, février 1984.

8. Vega-Perez, M., Zsombor-Murray, P.J., Vroomen L.J., Contact pressure distribution measurement with variable reference transducers, Congrès CAN/CAM 1985 de mécanique appliquée, London, juin 1985.

9. Vroomen, L.J., Hudson, R., Karasiuk, M., BD program optimization algorithms, Compte rendu du 24^{e} Congrès MINI, Bari, Italie, pp. 51-55, juin 1984.

10. Vroomen, L.J., Zsombor-Murray, P.J., Hudson, R.D., Application of binary decision-based programmable controllers, Congrès du chapitre canadien de l'IEEE sur les contrôleurs programmables, Montréal, n° de cat. 84CH2041-2, LCC#84-81371, octobre 1984, p. 335.

11. Xiaoming, W., Vroomen, L.J., Graphical simulation of artificial skeletal muscle kinematics, MINI 1985, Montréal, juin 1985.

12. Zsombor-Murray, P.J., Vroomen, L.J., Kucuk, A.C., Hudson, R., BD based digital displacement velocity and acceleration transducer, Compte rendu MECO 1983 du Congrès sur les méthodes et les applications de la mesure et de la commande, Athènes, vol. 1, ISBNO-88986-050-5, pp. 18-22, août 1983.

13. Zsombor-Murray, P.J., Vroomen, L.J., Hudson, R.D., Binary decision-based programmable controllers, Congrès sur les contrôleurs programmables du chapitre canadien de l'IEEE, Montréal, n° de cat. 84CJ2041-2, LCC#84-81371, p. 330, octobre 1984.

Mémoires

1. Hudson, R., The design of a hybrid microprocessor/binary-decision programmable controller (M. génie 1985).

2. Kucuk, A.C., Bipedal balance and locomotion; A binary-decision approach to its control and actuation (M. génie 1985).

3. Levi, M., Intelligent reflexive interfaces and their applications (M. génie 1985).

4. Tabachnick, R.L., An approach to the implementation of industrial sequence controllers (M. génie 1982).

5. Vega-Perez, M., Contact pressure measurement with pressurized force switches (M. génie 1984).

UNIVERSITÉ McGILL

Département de génie électrique

Laboratoire de vidéo-informatique et de robotique

3480, rue Université
Montréal (Québec)
H3A 2A7

Professeur M.D. Levine
(514) 392-5396
Télex : 05-268-510

I) Renseignements sur le cadre de recherche

Historique et développement

Le Laboratoire de vidéo-informatique et de robotique a été créé à la fin des années 1960 dans le but d'effectuer des recherches en reconnaissance des formes et en traitement des images. Dans les années 70, le graphisme est devenu l'un de ses domaines de préoccupation, et depuis huit ans, ce sont la vidéo-informatique et la robotique qui suscitent le plus d'intérêt.

Équipements

Des robots PUMA 260 d'Unimation, IBM 7565 et Microbo Castor, des systèmes de vision Grinnell et Matrox, un ordinateur VAX 11/780 et deux ordinateurs VAX 11/750, un scaneur à tambour Optronic et divers périphériques.

Provenance du financement et sommes versées

Subventions stratégiques CRSNG	81-82	exploitation	50 000 $
		équipement	50 000 $
	82-85	équipement	290 327 $
	82-83	exploitation	90 875 $
	83-84	exploitation	105 868 $
	84-85	exploitation	116 637 $

Des recettes supplémentaires proviennent de contrats.

Clientèle

Northern Télécom Ltée, Les recherches Bell-Northern, Digital Equipment of Canada Ltd., IBM Canada Ltée.

Projets d'expansion

La Faculté se propose de constituer un institut de robotique grâce à la fusion de ce Laboratoire et du Laboratoire des systèmes de manipulateurs de

robots. Le financement de cet institut est l'oeuvre du Secrétariat d'État (700 000 $ en septembre 1984) et du Centre de recherche informatique de Montréal du Gouvernement du Québec.

II) Renseignements sur le personnel

Chercheurs	M.D. Levine	vidéo-informatique et robotique
	A.S. Malowany	robotique
	S.W. Zucker	vidéo-informatique et robotique
Chercheurs associés	P.R. Belanger	robotique
	M. Frojmovic	
	P.R. Noble	
Scientifique invité	R. Hummel	
Personnel	D. Chau	ingénieur de recherche
	C. Eskenazi	gestionnaire de systèmes
	L. Everson	associé de recherche
	F. Lew	secrétaire administratif
	R. Kinsella	ingénieur de recherche
	M. Parker	programmateur systèmes
	K. Sung	ingénieur de recherche
	R. Quik	technicien (temps partiel)
	J. Foldvari	atelier (temps partiel)

Étudiants aux études supérieures

Il y a actuellement quarante-deux étudiants (huit au niveau du doctorat et trente-quatre au niveau de la maîtrise en génie) dirigés par des membres du Laboratoire.

III) Activités de recherche

Objectifs principaux de la recherche

Nous avons deux objectifs de recherche principaux : d'abord étudier les divers aspects propres à la robotvision dans le but ultime de créer des robots intelligents capables de fonctionner à partir de signaux extéroceptifs; ensuite examiner différents aspects des systèmes robotiques et de leur commande. Ceci devrait aboutir ultimement à l'inspection, l'assemblage et la réparation de circuits hybrides par vision artificielle.

Domaines de spécialisation

Les domaines de spécialisation sont : vidéo-informatique, inspection par vision, capteurs, planification de trajectoire et prévention des collisions, systèmes informatiques pour la commande de robots, algorithmes de commande de robots et circuits hybrides.

Disciplines de recherches

Vidéo-informatique

Un système expert pour l'interprétation de scènes

Un système de vidéo-informatique se propose de réaliser de façon exacte et cohérente l'interprétation d'une image. Par image, on entend la révélation du sens d'une image ou d'une scène donnée, c'est-à-dire "voir et nommer ce qui est vu". Des recherches antérieures menées à ce laboratoire tendaient vers un tel système mais par la conception de deux systèmes disjoints : un système de segmentation élémentaire et un système d'interprétation évoluée. Actuellement, nos recherches s'attachent à l'élaboration d'un système intégré doté d'un mécanisme de réaction descendant.

Un système de vidéo-informatique modulaire de cette nature est mis en oeuvre présentement. Un système de segmentation d'image élémentaire suivant une règle a été conçu puis mis en oeuvre comme système de production. Ce dernier a recours à un paradigme de prise de décision flou pour fixer à la fois la stratégie de traitement et les stratégies de sélection des données. Le principe du mécanisme dynamique est l'examen d'un certain nombre de paramètres de performance conçus pour mesurer la qualité, à tout instant, de la segmentation. Réimplanté dans le langage de production OPS5, ce système reprend les tâches du traitement élémentaire du présent système expert de vidéo-informatique.

Conçu de façon modulaire, l'étage du traitement évolué recourra à une stratégie de coopération et de compétition pour assurer la cohérence du marquage. Ce qui nous intéresse particulièrement ce sont les inductions initiales tentées au sujet des marquages possibles des régions de l'image à partir de l'intégration de plusieurs corps d'évidence et de la sensibilité de l'image au processus de relaxation. Manifestement, le succès de l'interprétation de haut niveau dépend de la segmentation résultante. C'est pourquoi il faudra prévoir par la suite une fonction de raffinement, de grossissement ou de correction de la segmentation à la lumière de l'interprétation. Il est proposé un mécanisme de ce genre ayant recours à un raisonnement flou dont l'objet est l'évidence combinée de la segmentation élémentaire et de l'interprétation évoluée.

Plusieurs enjeux sont en cause dans l'élaboration d'un système expert. Et le plus important c'est la représentation d'un système de vidéo-informatique qui aurait les caractéristiques d'un expert. Les enjeux centraux, du point de vue de l'intelligence artificielle, concernent la création et la gestion d'une base de connaissances, l'utilisation de schémas de raisonnement inexacts ou plausibles comme mécanisme d'induction et, enfin, le codage, l'organisation et l'utilisation des stratégies.

Induction de la forme d'objets tridimensionnels

L'identification et la reconnaissance d'objets dans une scène sont des problèmes ardus en vidéo-informatique. Notamment, la reconstitution de la forme des objets et l'aptitude à les représenter posent des problèmes qui nous

laissent perplexes. Récemment, la forme d'objets a été induite à partir des ombres portées, des contours, de la texture... Toutefois, ces méthodes de calcul posent des contraintes rigides : c'est ainsi qu'il faut connaître les conditions d'éclairage et seules certaines catégories d'objets peuvent être analysées.

Compte tenu des restrictions propres à ces méthodes, on s'est tourné récemment vers l'utilisation de capteurs tridimensionnels comme des télémètres, pour révéler la profondeur et certaines informations sur la forme des objets. Ces appareils sont très dispendieux et fonctionnent généralement dans un volume assez restreint.

Notre objectif est d'investiguer certains repères tridimensionnels décelés à partir d'une image bidimensionnelle d'une scène. Malgré les espoirs suscités par les récents travaux sur les méthodes "shape from" et la détection tridimensionnelle, nous continuons de croire qu'il existe de nombreux repères géométriques qui pourraient être identifiés et étudiés de façon plus poussée. Ce sont ces repères qui aideront à la segmentation d'une image, à la reconnaissance des objets et possiblement à la représentation tridimensionnelle de ces derniers. Actuellement, nous examinons ces questions.

Calcul et interprétation de la forme d'objets en mouvement dans un espace tridimensionnel

Le problème examiné est la représentation et le calcul de la forme tridimensionnelle d'un objet à partir d'images de cet objet. Notamment, nous cherchons à connaître les représentations des formes à différents niveaux d'abstraction et le processus de calcul qui nous y amènerait. Plus particulièrement, nous avons détaillé ce problème en quatre sous-problèmes : le calcul et la représentation de surfaces visibles à partir d'une vue unique; l'estimation du mouvement de l'objet ou de l'observateur par rapport à différentes vues adjacentes; la reconstruction des surfaces de l'objet dans un repère de coordonnées tridimensionnelles centrées sur l'objet; et l'induction du modèle volumétrique découlant de ces surfaces.

Les résultats de ces recherches ont abouti à une représentation hiérarchique de la forme et à un modèle de calcul qui permet de tirer cette représentation d'une suite d'images. Les surfaces et leurs propriétés intrinsèques sont représentées par ce que l'on nomme des images intrinsèques dynamiques, en fait des images intrinsèques conventionnelles mais augmentées d'un type de transformation linéaire qui transpose les caractéristiques vues du centre en caractéristiques selon un repère de coordonnées centrées sur l'objet. À partir de ces diverses images intrinsèques dynamiques, nous sommes en mesure d'abstraire les surfaces d'un objet et d'en faire une représentation volumétrique en appliquant les contraintes imposées par la géométrie différentielle. Notre façon de procéder est de décomposer les surfaces en bouts constitutifs délimités par des extremums de la courbure normale de la surface. La structure volumétrique sous-jacente est ensuite déduite par ajustement des primitives géométriques appropriées, tirées des propriétés du bout de la surface.

Nous avons mis en oeuvre et éprouvé cette théorie à titre de système vidéo-informatique (le banc d'essai d'interprétation tridimensionnelle de McGill) en lui demandant d'interpréter des objets réels en mouvement devant une caméra de télévision, ou des images de ces mêmes objets générés par ordinateur. Cette dernière option propose une façon d'analyser notre modèle qui permet de comparer la vérité aux données estimées. Jusqu'à présent, nos expériences réalisées avec des objets lisses et solides ont connu du succès, et nous travaillons actuellement à des applications biomédicales dans lesquelles la structure géométrique des plaquettes du sang est reconstruite à partir d'images de leur déplacement sous un microscope.

Système élémentaire de segmentation d'images suivant une règle

Un problème important de la vidéo-informatique est la segmentation des images des sciences naturelles. Il s'agit ici d'un projet de recherche qui aborde de façon nouvelle ce problème en essayant d'élaborer un système expert suivant une règle. La connaissance experte des propriétés élémentaires d'une image est formulée dans des règles de production. Un certain nombre de processus ont recours à ces règles pour segmenter l'image en régions uniformes et en lignes de raccord. Des règles de méta-connaissance commandent l'ordre d'appariement de ces règles de connaissance, la stratégie de traitement et la mise en relief des aspects intéressants. Un ensemble de paramètres de performance, qui mesure la qualité de la segmentation en tout temps, conditionne l'ordre d'application des règles et les stratégies de mise en relief des points intéressants. Les expériences menées sur les règles cognitives ont donné lieu à l'identification d'un ensemble optimal reposant sur la qualité de la segmentation et le rendement du traitement. La performance générale du système s'est avérée autant qualitativement que quantitativement supérieure aux anciens algorithmes de segmentation.

Actuellement, le système de segmentation expert a été réécrit partiellement dans le langage de programmation du système de production OPS5. Ce module fait office de stade élémentaire d'un système expert à base de connaissances, que l'on destine à l'interprétation de scènes.

Ébavurage de bavures gaussiennes

Les systèmes de visualisation réels introduisent une dégradation gaussienne, représentée par la convolution par rapport à une fonction gaussienne de dispersion de points (par exemple la topographie informatique). Ici notre problème est l'inverse de ce processus, soit l'ébavurage gaussien. Puisqu'un inverse optimal sous forme de filtre de convolution n'est pas physiquement réalisable, nous recourons à une formulation pseudo-inverse basée sur une approximation du polynôme d'Hermite. Le résultat de l'approximation du troisième ordre ressemble étrangèrement au Laplacien d'une fonction gaussienne, alors que les approximations d'ordres supérieurs font apparaître des lobes latéraux.

Actuellement, l'application de ce cadre théorique est en cours d'étude. La transposition du problème de l'ébavurage au domaine discret met en jeu un certain nombre de considérations numériques. D'emblée, nous avons appliqué directement la théorie au cas discret en nous fiant au fait que la limite d'un noyau discret tend vers le noyau continu. Dans cette perspective, les différentes approximations discrètes ont été étudiées par rapport à la stabilité et au rendement numérique en variant l'étendue de la bavure et l'ordre d'approximation. Dans une seconde approche de remplacement, nous avons considéré le problème de l'ébavurage essentiellement du point de vue discret. L'inverse analytique de l'opérateur de bavure discret a également été déterminé. Les résultats expérimentaux pour cet opérateur sont extrêmement valables et très prometteurs.

La structure locale des discontinuités d'images en une dimension

Il s'agit ici d'exposer une nouvelle façon de localiser les discontinuités par des coupes unidimensionnelles d'images idéalisées. Celle-ci repose sur un développement estimatif-théorique de la définition mathématique de la continuité appliquée à des fonctions échantillonnées, lisses par morceaux (C^1) et parasitées par du bruit (notre modèle de coupes unidimensionnelles dans des images idéalisées). Cette définition généralisée implique que les discontinuités ne peuvent être localisées sans la détermination simultanée de la structure locale (la structure locale d'une fonction non parasitée autour de la discontinuité). Ainsi, ces problèmes sont-ils inséparables, et l'hypothèse qui veut que toutes les discontinuités aient la même structure locale conduit à des résultats inexacts. La structure locale est importante pour la vision, car elle peut permettre d'expliquer l'événement physique qui donne lieu à la discontinuité et de déterminer les restrictions supplémentaires propres aux problèmes de correspondance stéréoscopique et du mouvement.

Détermination de la courbe optimale

Le processus de détection de caractères est souvent considéré comme un processus à deux étapes : d'abord les images sont transformées par convolution avec un ou plusieurs opérateurs, puis les résultats de ces convolutions, la réponse des opérateurs, doivent être interprétés en fonction de modèles cohérents du monde physique. Il n'existe pas de détecteur ayant des caractéristiques idéales, mais même s'il en existait un, il réagirait toujours de façon non équivoque même en présence de bruit. C'est la raison pour laquelle nous travaillons à élaborer des schémas d'interprétation optimaux.

Dans le problème de la détermination d'une courbe, la première mesure qui s'impose tout naturellement est l'estimation de l'orientation de la tangante à la courbe en un point. En l'absence de bruit, un écart allongé des fonctions gaussiennes ou une approximation de la seconde dérivée suivant une direction donne des résultats satisfaisants. Ces éléments servent à définir des opérateurs que l'on transforme par convolution par rapport à l'image. La réponse

de l'opérateur est maximale lorsque son orientation et sa position correspondent toutes les deux à celle de la tangeante à la courbe. Il s'agit donc de déterminer les maximums rotationnels et latéraux de l'opérateur après sa convolution.

Pour une image parasitée par du bruit, interpréter directement des maximums comme les tangeantes à une courbe n'est plus possible. Il est alors nécessaire d'appliquer une technique de marquage par relaxation aux interprétations initiales (évidemment imprécises) afin de corriger les ambiguïtés introduites par le processus de bruit. Il est bien connu que l'aspect le plus difficile de l'emploi des techniques de marquage par relaxation est la caractérisation des compatibilités entre les marques des noeuds voisins. Nous avons abordé cette difficulté en supposant qu'une courbe peut être approchée localement par son cercle de courbure. Cette hypothèse nous amène à la formulation très naturelle d'une matrice de compatibilité reposant sur la notion de cocircularité. Dans un sens, elle peut être introduite aussi bien par une estimation de courbure que par une tangeante à chaque point.

Brièvement, la cocircularité est la relation entre deux vecteurs tangeants à un même cercle. Durant le processus de relaxation, la détermination de la courbe est rendue plus facile entre deux points voisins si les tangeantes en ces points sont cocirculaires, ces points se trouvant dans un voisinage que l'on a choisi arbitrairement de 15 pixels par 15 pixels. Lorsque l'hypothèse de l'approximation de la courbe par un arc de cercle dans un tel voisinage est vérifiée, particulièrement pour un voisinage de cette taille, la convergence du processus est plus rapide que dans les tentatives précédentes.

Robotique commande

Identification des paramètres de manipulateur

Souvent il n'est pas facile d'obtenir les constantes dynamiques comme les moments d'inertie et les centres de masse. Dans le projet que voici, on a imaginé un ensemble d'expériences destiné à estimer les constantes au moyen de méthodes d'identification de paramètres. Ces expériences requièrent le choix judicieux des nombreux points de fonctionnement et des bons signaux d'excitation. Cette démarche est actuellement élaborée en détail pour la géométrie PUMA.

Estimation de la position à partir de la mesure des efforts

Les variables qu'on mesure dans les boucles asservies aux efforts sont souvent les efforts. Par ailleurs, ces variables peuvent également être considérées comme des grandeurs dépendant de la position et du couple initial. Supposons connus le point de contact d'un outil et la géométrie de la surface, il est possible alors d'utiliser les mesures des efforts pour estimer la position. La dynamique du bras est linéarisée autour du point de fonctionnement correspondant au centre de la surface de travail, alors que la surface du contact, elle, n'est pas linéarisée. Un filtre de Kalman sert à obtenir l'estimateur. Cette façon de procéder a été appliquée avec succès à un bras bidimensionnel simulé.

Découpage automatique par réaction du temps

Hallerbach a, entre autres chercheurs, étudié le découpage du temps pour des trajectoires, dans le but de trouver une solution simple qui permettrait à une certaine trajectoire spatiale d'être parcourue sans saturation des éléments de couple. Intuitivement, on sait que les sections de trajectoire devraient être parcourues à différentes vitesses afin d'exploiter au maximum le couple disponible tout en évitant la saturation. La solution étudiée est de répartir le temps en fonction de la réaction et de l'amplitude du couple. À ce moment-ci, on procède à l'analyse de stabilité théorique pour un système en pure inertie avec un couple initial et une perturbation.

Planification de la trajectoire dans des environnements à dépendance temporelle : PPT = PPS + PPV

Le problème de la planification d'une trajectoire se pose tous les jours sous la forme : comment aller d'ici à là? C'est un problème que nous devons résoudre tellement souvent, et surtout intuitivement, que nous restons inconscients de la complexité qu'il sous-tend. On vise dans le présent projet à étudier cette complexité de façon à réaliser une certaine décomposition des aspects spatiaux et temporels. En retour, ceci devrait nous permettre d'élaborer un algorithme de résolution du problème de planification de trajectoires dans des milieux à dépendance temporelle, algorithme que l'on résume par l'équation PPT = PPS + PPV. En clair, cette équation se décrit ainsi : problème de planification de trajectoire = problème de planification statique + problème de planification de la vitesse (aspect temporel).

Quelles sont les données essentielles du problème de planification de trajectoires et comment s'en servir? Voyons d'abord le scénario suivant :

Vous êtes l'un des premiers invités à arriver à un cocktail. Ce dernier débute à peine et il y a peu de personnes dans la salle, par ailleurs assez vaste. Vous désirez une consommation. C'est pourquoi vous essayez de repérer le bar. À part les détours que vous faites pour contourner les meubles, vous marchez en ligne droite vers celui-ci. Toutefois, dès qu'une personne s'approche, vous ralentissez pour ne pas la heurter, et revenez à votre pas normal lorsque vous l'avez dépassée.

Cet exemple, volontairement simplifié à outrance, illustre bien l'intuition fondamentale qui guide notre démarche : en présence d'obstacles en mouvement, la trajectoire et la vitesse sont critiques pour éviter une collision. Cet exemple laisse également entrevoir intuitivement la décomposition du problème en deux sous-problèmes : i) planification de la trajectoire pour éviter les collisions avec les obstacles immobiles; ii) planification le long de la trajectoire afin d'éviter les collisions avec les obstacles en mouvement.

Nous avons formalisé les observations précédentes afin d'obtenir des algorithmes efficaces convenant aux robots en mouvement parmi des obstacles mobiles et à des manipulateurs multiples partageant le même volume de travail. Nous travaillons présentement à perfectionner ces algorithmes pour qu'ils puissent s'adapter aux vraies incertitudes de l'environnement.

Stabilité d'un régulateur PD décentralisé

En pratique, la commande des manipulateurs se fait indépendamment des régulateurs PID (un par articulation). On croit que cette solution de commande peu complexe fonctionne bien en raison, d'abord, des petites charges qui donnent lieu à une dynamique relativement décentralisée et, ensuite, à un fonctionnement prévisible. La stabilité dynamique d'un manipulateur PUMA à trois articulations commandées par un régulateur PD (à action proportionnelle et dérivée) est actuellement en cours d'étude, et cela par l'évaluation de la stabilité locale des points d'opération sur toute l'enveloppe de travail. Nous cherchons à savoir si les robots presque exempts de frottement annoncés pour l'avenir, nécessiteront des commandes plus complexes.

Commande de manipulateur le long d'une trajectoire

Une théorie de commande de manipulateur exploitant la réaction à l'accélération a été élaborée. Elle a permis de déduire des lois de commande simples et indépendantes pour chaque articulation. Les limites d'erreur du modèle non linéaire complexe ont pu être obtenues : seuls doivent être limités les éléments de l'ajustement de l'inertie, les forces de la pesanteur et les coefficients des termes du carré de la vitesse dans les forces de Coriolis. Il n'est pas nécessaire de mesurer directement l'accélération, mais seulement de l'estimer par filtrage de Kalman à partir des mesures de position. Ce schéma de commande fait l'objet d'un essai sur le programme de simulation CMU.

Réparation

Programmation d'un robot

Il s'agit ici de constituer un milieu propice au fonctionnement d'un robot industriel. Ce qui nous intéresse surtout ce sont l'interaction homme-machine, le langage évolué, les exigences pour les bases de données, le diagnostic d'erreurs, la reprise après erreur et la mise en oeuvre d'un système expert. On veut également réaliser une sortie de simulation graphique. Un tel système devrait contenir un grand nombre de robots, de capteurs et de périphériques. Se poursuit actuellement la mise en oeuvre des primitives de tâches d'un langage de robotique destiné à la réparation de circuits hybrides.

Le consultant en réparation de circuits hybrides

La réparation de circuits hybrides défectueux au moyen de manipulateurs de robotique ne peut se faire sans un schéma de commande approprié. Pour en obtenir, on travaille présentement à élaborer un système de commande hiérarchique pour robot, appelé consultant en réparation. Ce consultant est formé de deux parties importantes : un programme de planification des tâches et un programme de planification des interventions. À partir d'une liste de défectuosités, on prend en charge la détermination des réparations nécessaires, de même que la façon de les effectuer. En sortie le consultant en réparation livre un plan détaillé du train des ordres qui doivent être donnés aux niveaux inférieurs de la hiérarchie du robot de réparation.

Réparation de plaquettes imprimées à l'aide d'un système de robotique

On travaille présentement à un système de robotique d'emploi facile pour la réparation de plaquettes imprimées. On veut surtout être en mesure de couper à volonté les chemins des circuits et d'ajouter des fils soudés. On y parviendra en combinant des tâches de robotique et de vidéo-informatique.

Assemblage et réparation de circuits hybrides

Voici un projet qui vise à élaborer une installation d'emploi facile pour l'assemblage et la réparation de matrices de circuits hybrides en utilisant à la fois le PUMA 260 et des robots Microbo, la vision microscopique, le désoudage et la distribution de soudure. Seront également traités la base de données, les exigences d'inspection des machines et l'outillage spécial.

Systèmes

Gestion de réseaux et commande hiérarchique d'un système de robotique

Notre laboratoire de robotique dispose à présent de deux robots et d'un certain nombre de mini-ordinateurs et de micro-ordinateurs servant à la commande des robots et au traitement des images. Cette étude porte sur la conception des réseaux d'ordinateurs hiérarchiques et sur les principes de stabilité. Les fonctions de gestion des réseaux et de multitraitement Unix sont appliquées à ce système réparti renfermant des robots, des systèmes de vidéo-informatique et des capteurs intelligents.

Processeurs de vision à grande performance

Pour obtenir la qualité de vision en temps réel nécessaire aux applications de robotique, il importe de recourir à des systèmes d'ordinateurs efficaces et optimaux. Un des aspects de cette étude est la conception d'un système compatible multibus exploitant des microprocesseurs TMS320 de Texas Instruments. Certains algorithmes de vision élémentaires seront élaborés. Un deuxième aspect concerne la conception d'un programme de convolution rapide créé sur une puce VLSI de conception courante. On a retenu une conception systolique afin de pouvoir réaliser un programme de convolution de dimension quelconque. Une conception multibus pour un 9 par 9 est prévue.

Bibliothèque de programmes en langage "C" pour la commande de robots, mise en oeuvre sur un PUMA 260

Durant l'année écoulée, se sont poursuivis les travaux de mise en place et d'expansion d'une bibliothèque de programmes de commande de robots en langage C, créée initialement en 1983 à l'université Purdue par Vincent Hayward et Richard Paul. Il s'agit ici d'un système formé d'un ensemble de structures de données et de sous-programmes intégrés dans un UNIX "C" qui fournit un ensemble souple de primitives pour la commande d'un robot. Les fonctions qu'on y trouve sont : le mouvement cartésien, la commande de trajet et la réaction aux efforts. Nous terminons présentement la mise en place de ce logiciel sur un PUMA 260 d'Unimation. Nous envisageons sa mise en oeuvre

sur un robot haute précision Microbo. L'objectif visé principalement par cette étude est de constituer un environnement de recherche et de programmation uniforme qu'on implanterait dans plusieurs robots. Une version Intel 8086 est en cours d'élaboration à partir du système d'exploitation RMX86.

Mesure de la position en cordonnées absolues

Les solutions actuelles font appel à la résolution en direct du problème de la cinématique inverse pour la détermination des coordonnées de l'articulation à partir des coordonnées absolues. La complexité du calcul se présente comme un premier inconvénient; le recours à une solution en boucle ouverte, comme un autre inconvénient. L'exactitude des coordonnées absolues exige une connaissance très précise des constantes cinématiques. Si la position en coordonnées absolues peut être mesurée, ces deux inconvénients peuvent être éliminés utilisant la réaction. On propose ici d'élaborer un système de capteurs acoustiques en plaçant sur la main un ou plusieurs émetteurs acoustiques et en dispersant sur le pourtour du volume de travail plusieurs récepteurs. Les mesures de phase permettront de déterminer les retards et la vitesse du son et d'estimer les positions en utilisant un filtrage de Kalman.

Étalonnage d'un poste de travail robotisé

Il s'agit ici de la réparation et de l'inspection de circuits intégrés hybrides, une tâche qui demande une grande précision et des appareils très divers. Cette étude traite de l'étalonnage du robot PUMA 260, de ses chargeurs périphériques, de son outillage et de ses systèmes d'analyse d'images utilisant un microscope et des caméras mobiles.

Inspection

Un système d'inspection automatique par vision de plaquettes hybrides sans composant

On travaille à la conception d'un système d'inspection automatique par vision des défauts des plaquettes de circuits hybrides avant l'insertion des composants. Un système respectant une règle sert à la gestion générale du système d'inspection de même qu'à la prise de décision au sujet des plaquettes défectueuses. À ce moment-ci, le système traite bien les couches conductrices des circuits hybrides; de plus, les programmes de séparation des différentes couches imprimées à partir d'images sont opérationnels. De nouvelles règles d'analyse ont été établies pour les couches autres que les couches conductrices.

Commande de robot intelligent pour l'inspection de circuits hybrides

Le contrôle de la qualité est l'un des enjeux les plus fondamentaux de la fabrication moderne en très grande série. Les fabricants sont à la merci de l'échantillonnage d'une certaine quantité de leurs produits finis, échantillonnage qu'ils considèrent représentatif de la qualité de tout leur lot. Une société de composants électroniques serait en bien meilleure posture

commerciale si elle pouvait inspecter et garantir la totalité de ses produits finis. Notre espoir est d'arriver à élaborer un poste robotisé d'inspection par vision de nature générale. Pour être de nature générale, un tel poste d'essai doit être en mesure de s'ajuster à différents produits résultant de différentes productions, de même que de changer les inspections par vision à effectuer sur différentes parties du produit. Un système à base cognitive est nécessaire pour suivre toutes les données d'analyse d'images nécessaires et déjà captées.

Un système expert est en cours d'élaboration afin de superviser les programmes de saisie de données. Il est formé de deux parties : d'abord d'une base de données qui mémorise les connaissances qu'a le robot de son environnement général et les connaissances spécialisées qu'il doit avoir pour apprécier la tâche à inspecter; ensuite d'un ensemble de règles que suivent les programmes de mouvement élaborés et d'analyse d'images pour trouver les primitives du robot au moyen desquelles il peut opérer sur son environnement (c'est-à-dire faire l'inspection). Cet ensemble de règles facilite la description à un haut niveau des tâches d'inspection robotisées et la modélisation interactive de l'environnement.

Inspection par vision de circuits hybrides

Un autre système à base de règles qu'on cherche à élaborer est destiné à l'inspection de composants de circuits hybrides. Un problème important consiste à déterminer la position d'un composant discret sur la plaquette à partir d'une image générée par une caméra. C'est une tâche que rend plus complexe la présence d'un grand nombre de régions réfléchissantes (joints de soudure, broches de circuits intégrés) qui tendent à diminuer la cohérence de l'image numérisée. Après la détermination de la position, une séquence de programmes d'analyse, conçue pour déceler des défauts d'assemblage précis, est appliquée à l'image. Parmi les défauts traités, il y a les défauts de conducteurs, la qualité des joints de soudure et l'intégrité des composants. Ce système donne en sortie un rapport sur l'état du composant.

Positionnement de composants de circuits hybrides au moyen d'un PUMA 260

L'inspection informatisée, par analyse d'images de composants discrets sur une plaquette de circuit hybride implique d'abord la mise en place du circuit en une position arbitraire puis son orientation dans l'espace tridimensionnel. Ce circuit après grossissement par un microscope est observé par une caméra barrette. L'image résultante est analysée pour déterminer, par exemple, la qualité des joints de soudure.

L'objet de ce projet est d'utiliser un robot PUMA 260 comme organe de positionnement et d'orientation dans lequel sera incorporée la réaction à l'objet vu pour compenser l'imprécision du positionnement. Le signal de réaction sert à positionner un tampon particulier du circuit sous le microscope. Le manipulateur translate également selon la verticale le circuit pour mettre au point automatiquement d'après l'image observée. Un autre aspect qui doit

être pris en considération est la prévention de la collision du circuit hybride avec le microscope durant le positionnement. Un programme VAL autonome est en cours de rédaction et assurera essentiellement le déplacement mécanique à cinq degrés de liberté avec mise au point automatique.

IV) Bibliography

1. Levine, M.D., A Knowledge-based computer vision system, Computer Vision Systems, Riseman, E., Hanson, A., (rédacteurs), Academic Press, New York, 1978.

2. Levine, M.D., Region analysis using a pyramid data structure, Structured Computer Vision, Tanimoto, S., Klinger, A., (rédacteurs), Academic Press, New York, 1980.

3. Levine, M.D., Nazif, A., An experimental rule-based system for testing low level segmentation strategies, Multi-Computer Architectures and Image Processing: Algorithms and Programs, Uhr, L., Preston, K., (rédacteurs), Academic Press, New York, 1982.

4. Levine, M.D., Vision in Man and Machine, McGraw-Hill, New York, 1985, sous presse.

5. Zucker, S.W., Approaches to image segmentation, Digital Image Processing and Analysis, Rosenfeld, Simon, J.C., (réd), Nordhoff International Publication, 1977.

6. Zucker, S.W., Relaxation labelling, local ambiguities and low-level vision, Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Chen, C.H., (réd.), Academic Press, New York, 1977.

7. Zucker, S.W., Relaxation labelling and the reduction of local ambiguities, Computer Methods in Image Analysis, Aggarwal, R.O., Duda, Rosenfeld, A., (rédacteurs), IEEE Press, New York, 1977.

8. Zucker, S.W., Production systems with feedback, Pattern-Directed Inference Systems, Hayes-Roth, F., Waterman, D., (rédacteurs), Academic Press, New York, 1978.

9. Zucker, S.W., Vertical and horizontal processes in low-level vision, Computer Vision Systems, Riseman, E., Hanson, A., (rédacteurs), Academic Press, New York, 1978.

10. Zucker, S.W., Local structure, consistency, and continuous relaxation, Digital Image Processing, Noordhoff International, Haralick, R., Simon, J.C., (rédacteurs), Leyden, 1980.

11. Zucker, S.W., Terzopoulos, D., Finding structure in co-occurrence matrices for texture analysis, Image Modeling, Rosenfeld, A., (réd.), Academic Press, New York, 1980.

12. Zucker, S.W., Labeling lines and links: An experiment in cooperative computation, Consistent Labeling Problems in Pattern Recognition, Haralick, R.M., (réd.), Plenum Press, New York, 1980.

13. Zucker, S.W., Cooperation and visual information processing, Digital Image Processing, Simon, J.C., Haralick, R., (rédacteurs) Reidel Publ. Co., Dordrecht, Pays-Bas, 1981.

14. Zucker, S.W., Computational and psychophysical experiments in grouping, Human and Machine Vision, Rosenfeld, A., Beck, J., (rédacteurs), Academic Press, New York, 1984.

15. Zucker, S.W., Parent, P., Curvature constraints from multiple-size asymmetric operators, Multi-Resolution Image Processing and Analysis, Rosenfeld, A., (réd.), Springer, New York, 1984.

16. Zucker, S.W., Type I and type II processes in early orientation selection Figural Synthesis, Caelli, T., Dodwell, P. (rédacteurs), Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, 1984.

17. Zucker, S.W., Early orientation selection and grouping, From Pixels to Predicates: Progress In Computer Vision, Pentland, A., (réd.), Abex, New Jersey, à paraître.

18. Zucker, S.W., The fox and the forest: toward a type I type II constraint on early optical flow, Motion: Representation and Control, J. Tsotsos (réd.), ACM Press, à paraître.

19. Zucker, S.W., A computational theory of early orientation selection, Vision, Brain and Cooperative Computation. Aribib, M., Hanson, A. (rédacteurs), MIT press, Cambridge, à paraître.

20. Zucker, S.W., Cooperative grouping and early orientation selection, Physical and Biological Processing of Images, Braddick, O., Sleigh, A., (rédacteurs), Springer, New York, 1984.

Articles de revues et de comptes rendus des congrès

1. Boudreault, Y.Y., Malowany, A.S., A CMOS convolution chip for robotics applications, présentation acceptée, 13^{e} Colloque international sur les mini-ordinateurs et les micro-ordinateurs et sur leurs applications, Université McGill, Montréal, Canada, du 3 au 5 juin 1985.

2. Carayannis, G., Freedman, P., Gauthier, D., Malowany, A.S., A distributed robotics environment, présentation acceptée, 13e Colloque international sur les mini-ordinateurs et les micro-ordinateurs et sur leurs applications, Université McGill, Montréal, Canada, du 3 au 5 juin 1985.

3. Dill, A.R., Levine, M.D., Non-rigid body motion, soumis à Graphics Interface 85, Montréal (Québec), du 27 au 31 mai 1985.

4. Ferrie, F.P., Levine, M.D., Piecing together the 3-D shape of moving objects, soumis à IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, publication acceptée; soumis au Congrès de la IEEE sur la videoinformatique et la recommaissance des formes, San Francisco, CA., du 8 au 13 juin 1985.

5. Freedman, Pl, Carayannis, G., Gauthier, D., Malowany, A.S., A session layer for a distributed robotics environment, soumis au COMPRINT 85 Conference, Montréal, du 12 au 14 septembre 1985.

6. Gupta, K.K., Zucker, S.W., Trajectory planning problems, I: Determining velocity along a 1-dimensional path, Compte rendu du Congrès de la Canadian Society for Computational Studies of Intelligence, London (Ont.), 1984.

7. Gupta, K.K., Zucker, S.W., Trajectory planning problems, Septième Congrès international mixte sur la reconnaissance des formes, Montréal, juillet 1984.

8. Hubschman, H., Zucker, S.W., Frame to frame coherence and the hidden surface computation: Constraints for a convex world, Computer Graphics, 1981, 15(3), 45-54; réimprimé avec changements dans ACM Transactions on Graphics, 1982, 1, 129-162; Compte rendu du SIGGRAPH 81, Dallas.

9. Hummel, R.A., Zucker, S.W., On the foundations of relaxation labeling processes, Compte rendu du Cinquième Congrès international mixte sur la reconnaissance des formes, Miami, FL, décembre 1980; IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-5, 267-287, 1983.

10. Kant, K., Zucker, S.W., Trajectory planning in time-varying environments, I: TPP = PPP + VPP, Robotics Research (soumis); Compte rendu SPIE: robots intelligents et vidéo-informatique, Cambridge, MA, novembre 1984.

11. Kimia, B., Zucker, S.W., Deblurring gaussian blur, Compte rendu du Congrès de la IEEE sur la vidéo-informatique et le traitement des images, Washington, DC, juin 1983; Computer Vision, Graphics, and Image Processing (soumis).

12. Kimia, B., Hummel, R., Zucker, S.W., Deblurring gaussian blur, Computer Vision, Graphics, and Image Processing (soumis).

13. Leclerc, Y., Zucker, S.W., The local structure of intensity discontinuities in 1 dimension, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence (soumis).

14. Leclerc, Y., and Zucker, S.W., The local structure of intensity discontinuities (résumé), Optics News, 10, 1984, p. 71: The local structure of intensity discountinuities in 1 dimension, Compte rendu du Congrès de la Canadian Society for Computational Studies of Intelligence, London (Ont.), 1984; Programme technique, réunion annuelle de l'Optical Society of America, San Diego, CA, octobre 1984, p. 43; Septième Congrès international mixte sur la reconnaissance des formes, Montréal, juillet 1984.

15. Levine, M.D., Shaheen, S.I., A modular computer vision system for picture segmentation and interpretation, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence PAMI, PAMI-3(5):540-556, 1981.

16. Levine, M.D., Ting, D., Intermediate level picture interpretation using complete two-dimensional models, Computer Graphics and Image Processing 16(3):185-209, 1981.

17. Levine, M.D., Nazif, A.M., Dynamic measurement of computer general image segmentations, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-7(2):155-164, 1985.

18. Levine, M.D., Zucker, S.W., Sensory-based robots for the repair of hybrid circuits, Congrès canadien sur la robotique, Mississauga (Ont.), p. 4, du 20 au 21 septembre 1982.

19. Levine, M.D., Eskenazi, C., Zucker, S.W., Automated visual inspection of electronic circuits, Congrès canadien sur la robotique, Mississauga, (Ont.), du 20 au 21 septembre 1982.

20. Levine, M.D., Robots and hybrids, Symposium international sur le traitement des images et ses applications, Université de Tokyo, Tokyo, Japon, du 18 au 21 janvier 1984 (invité).

21. Levine, M.D., Robotics and hybrid circuit inspection, assembly, and repair (invité), CIPS Session 84, Calgary (Alb.), du 9 au 11 mai 1984.

22. Levine, M.D., Nazif, A., an optimal set of segmentation rules, Pattern Recognition Letters, Vol. 2, pp. 243-248, 1984.

23. Levine, M.D., Nazif, A., Dynamic measurement of computer generated image segmentations, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-6(5): 555-577, 1984.

24. Levine, M.D., Nazif, A., Rule-based image segmentation: a dynamic control strategy approach, Computer Vision, Graphics and Image Processing, publication acceptée.

25. Malowany, A.S., 1982, The design of the VIP (video input path), IBM Zurich research lab.

26. Malowany, A.S., Carayannis, G., Pancholy, R., Sung, K., 1981, The SY790 controller, sytrolec controls, Montréal.

27. Malowany, A.S., Kashef, B., A color real-time animation system, Compte rendu du Graphics Interface '84, Université d'Ottawa, Ottawa, mai 1984, pp. 43-50.

28. Mansouri, A-R., Malowany, A.S., Using vision feedback in printed circuit board assembly, présentation acceptée à la 1985 Microprocessor Forum Conference, Atlantic City, New Jersey, du 31 mars au 4 avril 1985.

29. Michaud, C., Malwany, A.S., Levine, M.D., Electronic assembly for robots, soumis à Graphics Interface '85, Montréal (Qué.), du 27 au 31 mai 1985.

30. Mohammed, J., Hummel, R., Zucker, S., A feasible direction operator for relaxation methods, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1983, PAMI-5, 330-332; aussi Fairchild Technical Report No. 637, Laboratory for Artificial Intelligence Research, Fairchild Corp., Palo Alto, CA, mai 1983.

31. Nazif, A., Levine, M.D., A rule-based low level image segmentation system, Septième conférence de la Société des communications entre l'homme et l'ordinateur, Waterloo (Ont.), du 10 au 12 juin 1981.

32. Nazif, A., Levine, M.D., Setting strategy in a rule-based vision system, Quatrième conférence de la Canadian Society for Computational Studies of Intelligence, Saskatoon (Saskatchewan), du 17 au 19 mai 1982.

33. Nazif, A., Levine, M.D., Low level image segmentation: An expert system, IEEE Trans. on Pattern analysis and Machine Intelligence, PAMI-6(5): 555-577, 1984.

34. Sander, P., Zucker, S.W., Computing surface curvature, soumis au Congrès de la IEEE sur la vidéo-informatique et la reconnaissance de formes, San Francisco, 1985.

35. Shaheen, S.I., Levine, M.D., A modular computer vision system for picture segmentation and interpretation, IEEE on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-3, pp. 540-556, 1981.

36. Shaheen, S.I., Levine M.D., Some experiments with the interpretation strategy of a modular computer vision system, Pattern Recognition, 14(1-6): 87-100, 1981.

37. Zucker, S.W., Gupta, K.K., Multiple-level representations for texture discrimination, Congrès de la IEEE sur la reconnaissance des formes et le traitement des images, Dallas, août 1981.

38. Zucker, S.W., Computational and psychophysical experiments in grouping, Human and Machine Vision Workshop, Denver, août 1981.

39. Zucker, S.W., Computer vision and human perception: An essay on the discovery of constraints, Compte rendu du Septième Congrès international mixte sur l'intelligence artificielle, Vancouver, août 1981.

40. Zucker, S.W., Early orientation selection and grouping: Evidence for type I and type II patterns, Proc. Royal Society London, B (soumis); Early orientation selection, Computer Vision, Graphics, and Image Processing, (soumis).

41. Zucker, S.W., Toward a theory of orientation selection and grouping, Compte rendu de l'Atelier de la IEEE sur la vidéo-informatique: représentation et commande, New Hampshire, août 1982.

42. Zucker, S.W., Parent, P., Cooperative grouping and early orientation selection, International Symposium on Physical and Biological Processing of Images, The Royal Society, Londres, septembre 1982.

43. Zucker, S.W., Stevens, K.A., Sander, P., The relation between brightness and proximity in dot patterns, A.I. Memo 570, Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, mai 1982; Perception and Psychophysics, Vol 34, pp. 513-522, 1983.

44. Zucker, S.W., Parent, P., Curvature constraints from multiple-size asymmetric operators, NSF Workshop on Multi-Resolution Image Processing and Analysis, Washington, DC., juillet 1982.

45. Zucker, S.W., Parent, P., Multiple size operators and optimal curve finding, Compte rendu du Congès international sur la reconnaissane, Allemagne, octobre 1982.

46. Zucker, S.W., Perceptual grouping, Workshop on Vision, Brain, and Cooperative Computation, University of Massachusetts, Amherst, mai 1983.

47. Zucker, S.W., Finding structure in images, Stockholm Workshop on computational Vision, Rosenon, août 1983.

48. Zucker, S.W., Two processes for early optical flow, (résumé), Optic News, 10, 75, 1984.

49. Zucker, S.W., Hummel, R., Receptive fields and the representation of visual information, Human Neurobiology (soumis); Septième Congrès international sur la reconnaissance des formes, Montréal, juillet 1984; Compte rendu du Congrès de la Canadian Society for Computational Studies of Intelligence, London (Ontario), mai 1984.

50. Zucker, S.W., Early perceptual grouping, The Workshop on Perceptual Organization, Fairchild Laboratory for Artificial Intelligence Research, Palo Alto, CA, février 1984.

51. Zucker, S.W., Hummel, R.A., Receptive fields and the reconstruction of visual information, Septième congrès international sur la reconnaissance des formes, Montréal, juillet 1984; Compte rendu de la Canadian Society for Computational Studies of Intelligence, London (Ontario), mai 1984.

52. Zucker, S.W., Two processes for early orientation selection, Second Workshop on Perceptual Organizational, Pajaro Dunes, CA, June 1984.

53. Zucker, S.W., Two processes for early optical flow, Programme technique, Réunion annuelle de l'Optical Society of America, San Diego, p. 56, octobre 1984.

54. Zucker, S.W., The future of robotic vision, SIBEC II, Montréal, octobre 1984.

55. Zucker, S.W., Cooperative grouping and early orientation selection, Computer Vision Graphics, and Image Processing (soumis).

56. Zucker, S.W., Two processes for early optical flow, Optic News, 10, 75, 1984.

57. Zucker, S.W., Does connectionism suffice? Behavioral and Brain Sciences (soumis).

58. Zucker, S.W., Early perceptual grouping, the what, why and how questions, Second Workshop on Human and Machine Vision, Montréal (Québec), août 1984.

Rapports techniques

1. Carayannis, G., Structure techniques for computer vision, TR-82-11.

2. Carayannis, G., A survey of programming languages for intelligent robots, TR-82-15.

3. Carayannis, G., Controlling a PUMA 260 robot from a VAX computer, TR-83-3.

4. Dill, A., Hong, W., Everything you wanted to know about OPS5 but were afraid to ask, TR-84-5.

5. Ferrie, F.P., M.D., Reconstructing and interpreting the 3D shape of moving objects, TR-85-2R.

6. Hummel, R.A., Kimia, B., Zucker, S.W., Deblurring Gaussian blur, TR-83-15R.

7. Kant, K., Zucker, S.W., Trajectory planning in time-varying environments, 1; TPP = PPP + VPP, TR-84-7R.

8. Leclerc, Y., Zucker, S.W., The local structure of image discontinuities in one dimension, TR-83-19, 1983.

9. Levine, M.D., Zucker, S.W., An annotated bibliography on the application of computer vision to electronics inspection, TR-81-5.

10. Levine, M.D., Nazif, A., An experimental rule-based system for testing low level segmentation strategies, TR-81-6.

11. Levine, M.D., Nazif, A.M., Performance measurement and strategy evaluation for rule based image segmentation, TR-82-1.

12. Levine M.D., Zucker, S.W., Belanger, P.R., Agarwal, V.K., Hoffman, R.R., Lloyd, J., Merrill, P., Eskenazi, C., A robotics research project: The development of an intelligent computer system for inspecting, assembling, and repairing hybrid circuits, Rept. No. 82-5, Département de génie électrique, Université McGill, Montréal, Canada, 1982.

13. Levine, M.D., Nazif, A.M., Dynamic measurement of computer generated image segmentations, TR-82-9R, 1982.

14. Levine, M.D., Nazif, A.M., An optimal set of image segmentation rules, TR-83-6, 1983.

15. Levine, M.D., Nazif, A.M., Rule-based image segmentation: A dynamic control strategy approach, TR-83-9, 1983.

16. Levine, M.D., Robots and hybrids, TR-84-3, 1984.

17. Lloyd, J., Studenny, J., Kinematic equations and solutions for the McGill vision and robotics PUMA 260, TR-84-3, 1984.

18. Mansouri, A-R., Malowany, A.S., The use of vision feedback in printed circuit board assembly, TR-84-6, 1984.

19. Michaud, C., Mroutines, C., Using the Microbo robot with style, TR-85-3R.

20. Nazif, A., A survey of color, boundary information, and texture as features for low-level image processing, TR-78-7R.

21. Nazif, A., Levine, M.D., Low level image segmentation: An expert system, TR-83-4.

22. Studenny, J., Belanger, P.R., Robot manipulator control by acceleration feedback: A single-joint paradigm, TR-83-16, 1983.

23. Zucker, S.W., Kant, K., Multiple level representations for texture discrimination, TR-81-3.

24. Zucker, S.W., Computer Vision and Human Perception: An essay on the discovery of constraints, TR-81-10.

25. Zucker, S.W., Stevens, K.A., Sander, P., The relation between proximity and brightness similarity in dot patterns, TR-83-2R.

26. Zucker, S.W., The fox and the forest: Toward a Type I/Type I constraint for early optical flow, TR-83-11, 1983.

27. Zucker, S.W., Hummel, R., Receptive fields and the reconstruction of visual information, TR-83-17, 1983.

Thèses:

1. Abaszadeh-Partovi, N., The design of an operating system for a real-time color animation system (M. Eng. 1981).

2. Ampudia, R., A microprocessor design using the Intel 8086 for a color graphics animation system (M. Eng. 1982).

3. Carayannis, G., A color display system for real time animation (M. Eng. 1981).

4. Chau, D.W.Y., Microcoding the AMD2900 bit-slice microprocessor of the graphics real time animation display system (M. Eng. 1984).

5. Hubschman, H., Using frame-to-frame coherence in three-dimensional computer animation (M. Eng. 1980).

6. Kant, K., single and multiple level structures in texture discrimination (M. Eng. 1982).

7. Kashef, B., The Z8000 microprocessor software for a real time graphics colour animation display system (M. Eng. 1984), Lamarre, J.Y., A multiprocessor interface for a colour graphics display system (M. Eng. 1979).

8. Leclerc, Y.G., Continuous relaxation and local maxima selection (M. Eng. 1979).

9. Leung, C.H., Dynamic computed tomography through interpolation in the time domain (M. Eng. 1981).

10. Merrill, P., Automatic visual inspection of solder joints (M. Eng. 1984).

11. Mignot, A., Un logiciel de developpment et d'exploitation de microcode pour le systeme graphique d'animation en temps reel (M. Eng. 1981).

12. Mohamed, J., A feasible-direction operator for relaxation labeling processes (M. Eng. 1981).

13. Nazif, A.M., A rule-based expert system for image segmentation (Ph.D. 1983).

14. Robert, R., A Z8000 microprocessor design for the GRADS graphic real time animation display system (M. Eng. 1984).

15. Rosenberg, D., Monocular depth perception for a computer vision system (M. Eng. 1981).

16. Shaheen, S., Image segmentation and interpretation using a knowledge database (Ph.D. 1979).

17. Sharhiari, P., A2900 microprocessor design for the graphics real time animation display system (M. Eng 1982).

18. Terzopoulos, D., Texture discrimination using intensity and edge co-occurrence (M. Eng. 1980).

19. Ting, D., Intermediate level processing for a computer vision system (M. Eng. 1979).

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

Département d'I.R.O.

Laboratoire de robotique et de vision

C.P. 6128
Montréal (Québec)
H3C 3J7

Professeur N.F. Stewart
(514) 343-7090

I) Résumé

Le Laboratoire de robotique et de vision s'occupe de recherches en robotique depuis sa création en 1982, création rendue possible grâce à des subventions de 200 000 $ octroyées par le Gouvernement du Canada et le CRSNG. On y trouve les équipements suivants : un robot PUMA 560, des caméras à barrettes, un IBM PC et un réseau de micro-ordinateurs Lisa et Macintosh. Les chercheurs de ce Laboratoire ont, de plus, accès à un PDP 11/34 et à un VAX 11/750. Des postes de travail perfectionnés devraient être opérationnels en 1985 (un Sun 2/170 avec prise d'images et un système VME/10 à temps réel).

II) Renseignements sur le personnel

Chercheur principal		
Professeur N.F. Stewart	Chef, Départ. d'I.R.O.	robotique
Personnel affilié		
D. Charbonneau	Technicien	matériel
Professeur G. Gecsei	Professeur	VLSI
M. Jacques	Technicien	matériel
M. Maksud	Programmeur-analyste	logiciel
D. Thalmann	Professeur	infographie

À ces personnes, il faut ajouter cinq étudiants (tous inscrits au programme de maîtrise en sciences appliquées) qui se consacrent à des recherches.

III) Activités de recherche

Les disciplines de recherche sont : reprise après une panne (insensibilité aux défaillances), vidéo-informatique, planification de trajectoires (prévention des collisions), simulation de centres de travail.

Des logiciels ont été rédigés en vue de contrôler un système de plusieurs robots (robots à plusieurs bras) et un système de vision.

IV) Références bibliographiques

Le système de commande des bras multiples, de même que le contrôleur associé, sont décrits dans une série de huit rapports techniques (en français). Vous trouverez les résultats de certaines recherches en robotique effectuées à l'Université de Montréal dans les articles suivants :

1. Feeley, M., Stewart, N.F., Robotic vision and graphical display based on the IBM PC, Graphics Interface '83, pp. 97-101, 1983.

2. Fortin, D., Stewart, N.F. Coordination of multiple robot systems, à paraître dans Digital Systems for Industrial Automation.

3. Stewart, N.F. On-line robotic trajectory control based on spline interpolation, à paraître dans Infor.

4. Stewart, N.F. A multiple robot system with vision, Compte rendu du Congrès canadien de la robotique, pp. 85-90, 1982.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

Département d'ingénierie

Laboratoire de la robotique

C.P. 500
Trois-Rivières (Québec)
G9A 5H7

Professeur K. Ghosh
(819) 376-5011
Télex : 051-31623

I) Résumé

Le Laboratoire de la robotique de la Faculté d'ingénierie s'occupe de recherches en robotique. Ce Laboratoire, instauré en 1984, a comme équipement un robot PUMA 560 et ses accessoires, un système CAO/FAO couplé à un ordinateur Cyber 815 de CDC et six postes de travail Tektronic. Les fonds de soutien à ce Laboratoire provenaient en 1984 de : l'Université du Québec (19 000 $), l'Institut de recherche en santé et sécurité au travail du Québec (14 000 $) et de Northern Telecom Ltée (47 000 $). Un assistant de recherche est employé à temps plein au Laboratoire de la robotique. On se propose d'acquérir dans un proche avenir deux robots Rhino, des accessoires de robotique, des outils et des instruments.

II) Renseignements sur le personnel

Chercheurs principaux

Dr A. Jacob	Professeur	Génie électrique
Dr K. Ghosh	Professeur	Génie de la fabrication
Dr A. Kadima-Nzuji	Professeur	Génie électrique
Professeur C. Perron	Professeur	Génie mécanique
Dr V. Rajagopalan	Professeur	Génie électrique
Dr F. Seha	Professeur	Génie industriel
Dr A. Sévigny	Professeur	Génie électrique

À eux s'ajoutent un assistant de recherche et un étudiant aux études supérieures.

III) Activités de recherche

Les disciplines de recherche abordées sont : l'interaction homme-robot et la sécurité, l'assemblage par robot, la modélisation et le contrôle cinématique et des applications de soudage à l'arc. On envisage de travailler dans les domaines suivants : étude de systèmes de commande pour le soudage à l'arc,

inspection à l'aide de la vision artificielle, simulation d'un robot sur un système de CAO, insertion durant l'assemblage et sécurité de l'opérateur robot. Certains travaux de recherche et de développement sont effectués de concert avec Northern Telecom Ltée.

Les principales réalisations de ce Laboratoire sont l'élaboration d'outils de robotique pour l'assemblage de composants électroniques sur des plaquettes de circuits imprimés et l'évaluation de la sécurité de la version pour enseignement des robots PUMA et ASEA. Les deux domaines d'activités les plus importants de ce Laboratoire sont la robotisation de l'assemblage en électronique et l'étude de la sécurité des opérations de robotique.

IV) Références bibliographiques

1. Ghosh, K., Robotic assembly of printed circuit boards, sera présenté au Quatrième Congrès canadien de CAO/FAO et de robotique, Toronto, Ontario, 1985.

2. Ghosh, K., Lemay, C., Man-machine interactions in robotics and their effect on the safety at the workplace, accepté pour le Congrès Robots 9, Detroit, Michigan, 1985.

3. Ghosh, K., Bonenfant, M., Application de la robotique dans l'assemblage des plaquettes de circuits imprimés, accepté pour le Deuxième Congrès universitaire canadien sur la CAO/FAO, Montréal, Québec, 1985.

4. Ghosh, K., Sévigny, A., Seha, F., Safety Problems in robotic systems and some methods for their solution, Actes du Congrès international sur la robotique et les usines du futur, Charlotte, Caroline du Nord, 1984.

5. Ghosh, K., Considérations sur la sécurité industrielle dans l'implantation de la robotique et de l'automatisation flexible, Compte rendu du 14e colloque Augustin-Frigon, École polytechnique, Montréal, Québec, 1984.

6. Ghosh, K., Safety considerations in robotic installations, Compte rendu du Troisième Congrès canadien sur la CAO/FAO et la robotique, Toronto, Ontario, 1984.

7. Ghosh, K., Prévention d'accidents dans les postes de travail robotisés. Compte rendu du Congrès annuel de la Société canadienne des ingénieurs mécaniciens, Halifax, Nouvelle-Écosse, 1984.

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Département de génie mécanique

Laboratoire de FAO et de robotique

2500, boul. Université
Sherbrooke (Québec)
J1K 2R1

Professeur M. Brezina
(819) 821-7160
Télex : 05-836149

I) Résumé

À cette Université, la recherche en robotique est l'oeuvre principalement du Laboratoire de FAO et de robotique du Département de génie mécanique, Laboratoire créé au cours de l'été 1984. Les équipements de recherche dont dispose le personnel sont : un robot "Minimover-5" contrôlé par un Apple IIc, une fraiseuse verticale à commande numérique automatisée Autonumerics MK-2, un tour à commande numérique automatisée (Baxter Technologies - Future Builder), un ordinateur VAX 11/730, plusieurs micro-ordinateurs, des terminaux, des périphériques, un système CAO/FAO Computervision (accès seulement) et un dispositif programmable d'assemblage automatique construit au Laboratoire même ("Robotus-2.5"). À ceci devrait s'ajouter en mai 1985 un robot asservi à cinq axes ("ERRICC").

Les sommes nécessaires à l'achat des équipements ont été octroyées par le CRSNG (1984 à 1986, 7 500 $), le ministère de l'Éducation du Québec (1984 à 1986, 75 000 $) et l'Université de Sherbrooke (1985- , 17 000 $).

Le personnel de ce Laboratoire est en contact avec l'Université de Paris XII (professeur C. Vibet), le Robotics Laboratory, UWIST Cardiff, pays de Galles, Royaume-Uni (professeur P.J.V. Drazan) et le groupe de vision artificielle (Dr S. Richard) du Département de génie électrique de l'Université de Sherbrooke. On se livre à quelques travaux pour le compte d'entreprises locales qui s'intéressent à l'automatisation de la production.

II) Renseignements sur le personnel

Chercheurs principaux

Prof. P.A. Bourasa	Professeur	Modélisation et contrôle cinématique/dynamique
Dr M. Brezina	Professeur associé	CAO/FAO, conception de robots
Dr Y. Van Hoenacker	Professeur associé	CAO/FAO

À ces personnes s'ajoutent deux étudiants aux études supérieures qui s'adonnent à des recherches.

III) Activités de recherche

Outre les travaux effectués au Laboratoire de FAO et de robotique, il faut mentionner les recherches en robotique menées par le D^r S. Richard du Département de génie électrique sur la vision artificielle.

Les principaux domaines abordés sont : la commande, la conception de robots, la conception d'un poignet compliant et des applications de la robotique. Les principaux objectifs que visent ces recherches sont l'élaboration d'un dispositif flexible instrumenté à centre déporté qui servira aux opérations d'assemblage, les modélisations dynamique et cinématique de manipulateurs et la simulation de systèmes. Les disciplines de spécialisation sont : la planification et le contrôle de trajectoires, les modélisations cinématique et dynamique, la commande de robots, l'élaboration de dispositifs flexibles instrumentés et la planification d'opérations d'assemblage recourant au contrôle de l'effort.

Un important programme informatique a été rédigé en BASIC et en langage d'assemblage pour le dispositif flexible à centre déporté. Actuellement, un programme de simulation dynamique et cinématique est rédigé en FORTRAN pour des robots ayant jusqu'à six degrés de liberté.

Les principales réalisations de ce Laboratoire sont à ce jour : la conception et la construction d'un dispositifd'assemblage programmable automatique, la conception de la structure d'un robot à quatre degrés de liberté, la construction de dispositifs flexibles à centre déporté et la conception et la construction d'un système d'assemblage flexible instrumenté à centre déporté.

IV) Références bibliographiques

1. Brezina, M., Khan, M., Robotic assembly of compliantly supported rigid parts, présentation acceptée au Quatrième Congrès canadien sur la CAO/FAO et la robotique, Toronto, 19 juin 1985.

2. Khan, M., Brezina, M., Assemblage des pièces rigides par robots, représenté au 53^e Congrès de l'ACFAS, Chicoutimi, mai 1985.

3. Divers rapports internes concernant l'utilisation et la programmation du Minimover-5.

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

(Université du Québec)

Département de mécanique

180 est, rue Sainte-Catherine
Montréal (Québec)
H2X 1K9

Prof. S. LeQuoc
(514) 397-3653

I) Résumé

Le principal rapport de cette École avec la robotique est de nature éducative, car cette École décerne un baccalauréat en technologie de la production automatisée. Les équipements d'enseignement ou de recherche sont : un robot Teachmover Microbot, un robot ASEA IRB6/2, une machine à commande numérique compacts 5, un ordinateur IBM 4331 et des systèmes graphiques et de CAO utilisant un H.P. Les projets d'expansion font état de l'installation d'une machine à commande numérique à trois axes et, nous l'espérons, de l'achat d'un robot PUMA 260 (été 1986). Pour le moment, le financement est assuré par l'école; toutefois, on prévoit pour l'année prochaine financer une partie de la recherche au moyen de contrats.

Les chercheurs principaux sont les professeurs LeQuoc et My Dao et M. Bouchard (Chef du Département de la production automatisée). Le professeur LeQuoc s'occupe dans ses recherches de la programmation hors ligne et de la vision. Par ailleurs, le professeur My Dao s'adonne à des recherches sur la commande de la fabrication, tandis que les préoccupations de recherche du professeur Bouchard sont la robovision et la construction d'un système de vision. Les objectifs de recherche du groupe sont : l'élaboration d'un système de vision rapide, peu coûteux et léger, pour les robots et l'élaboration de matériels et de logiciels pour la programmation hors ligne de robots industriels.

II) Références bibliographiques

Rien pour l'instant.

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

(Université du Québec)

Département de la production automatisée

180 est, rue Sainte-Catherine
Montréal (Québec)
H2X 1K9

Professeur J. Bouchard
(514) 397-3629

I) Résumé

Le Département de la production automatisée, créé en 1983, a comme personnel enseignant le professeur Bouchard (Directeur, production automatisée), le professeur Olivier (génie industriel) et le professeur Sabourin (génie électrique). Voici l'équipement de recherche qu'on y trouve : un robot ASEA, un système de vision (Intel 380 et module de prise d'images), un système CAO/FAO et un ordinateur HP 9000. Ce Département est subventionné par le ministère de l'Éducation du Québec (485 000 $).

Les recherches de ce groupe concernent la CAO, la FAO et la FIA; toutefois, ces recherches ne traitent de la robotique que dans la mesure où cette dernière s'applique à ces technologies. Les recherches effectuées dans ce Département ont permis de monter un "laboratoire de vision" dans lequel on travaille actuellement à l'inspection de pièces industrielles à deux dimensions.

II) Références bibliographiques

Rien pour l'instant.

UNIVERSITÉ DU NOUVEAU-BRUNSWICK

Faculté de génie

C.P. 4400
Frédéricton (Nouveau-Brunswick)
E3B 5A3

Prof. D.J. Bonham
(506) 453-4513
Télex : 014-46202

I) Résumé

A la Faculté de génie, ce sont les départements de génie mécanique, de génie électrique et d'informatique qui se livrent à des recherches en robotique.

Le Département de génie mécanique maintient des liens très étroits avec le Centre de technologie de la fabrication du Nouveau-Brunswick, Centre qui regroupe l'Université du Nouveau-Brunswick, l'Université de Moncton, les collèges techniques de Moncton, Saint-Jean et Bathurst et le Conseil de la recherche et de la productivité (Fredericton). Ce Centre est parrainé par le ministère provincial du Commerce et du Développement. Son objectif est de mener des travaux de recherche et de développement, d'assurer la formation et de conseiller l'industrie dans le domaine de la CAO/FAO. Ce Centre recueille ses fonds des gouvernements fédéral et provincial, du CNRC et du CRSNG.

On trouve dans les laboratoires du Département de génie mécanique les équipements suivants : un robot PUMA, une machine à commande numérique automatisée Bridgeport, un ordinateur VAX 11/750 et un certain nombre de postes de travail CAO et des traceurs.

II) Renseignements sur le personnel

Chercheurs principaux (Faculté de génie)

Prof. D.J. Bonham	Chef, génie méc.	CAO/FAO, robotique
Dr R. Balasubramanian	Prof. (génie électr.)	commande numérique multivariable
Dr R. Doraiswami	Prof. (génie électr.)	commande numérique
Dr L. Goldfarb	Prof. (informatique)	reconnaissance des formes
Dr B. Kunz	Prof. (informatique)	traitement des images
Dr E.W. Richards	Directeur, centre de technologie de la fabrication	CAO/FAO, robotique
Prof. L. Torfason	Professeur (génie mécanique)	cinématique

D. Travers	Ingénieur de recherche	CAO/FAO, robotique
D^{r} D. Wasson	Chef informatique	reconnaissance des formes, robovision

III) Activités de recherche

Au Département de génie mécanique, les recherches en robotique sont l'oeuvre du professeur D.J. Bonham, chef du Département, du D^{r} E.W. Richards, directeur du Centre de technologie de la fabrication et de D. Travers, ingénieur de recherche. De caractère surtout pratique, ces recherches ont permis d'élaborer un centre de soudage robotisé pour l'industrie où les opérations sont effectuées par un robot PUMA et de concevoir pour cette application un accessoire de fixation de la pièce à travailler. Cet accessoire, grâce à ses deux articulations de révolution, permet de faire pivoter la pièce de façon que le soudage se fasse toujours dans la direction horizontale. Un centre de travail flexible groupant un robot PUMA et une fraiseuse à commande numérique a également été élaboré. Ce centre comprend des capteurs, la commande de surveillance et des dispositifs de localisation et de préhension automatique.

Le professeur L. Torfason du Département de génie mécanique travaille à la conception de modules de robotique comprenant des doigts, des poignets, des coudes, des épaules, etc. Ce travail de conception et d'élaboration se fait de concert avec le Centre de la recherche en robotique de l'Université de la Floride, Gainsville, où ce professeur passe beaucoup de temps à chaque été. On projette de demander le brevet des modules. Le professeur Torfason s'intéresse également à la cinématique des robots, notamment à la détermination des trajets optimaux dans les volumes de travail des robots.

Au Département d'informatique, le D^{r} W.D. Wasson, chef du Département, le D^{r} B. Kunz et le D^{r} L. Goldfarb s'occupent activement du traitement des images et de la reconnaissance des formes. Il s'agit de travaux qui pourraient éventuellement être très importants pour les applications de la robotique. On travaille actuellement à l'élaboration de systèmes d'acquisition d'images et à la rédaction de logiciels de restitution et de renforcement des images et d'aide à leur manipulation. Les travaux du D^{r} Goldfarb sur la reconnaissance des formes sont jugés très importants. D'ailleurs il existe un certain nombre de publications. Le laboratoire du Département contient des systèmes de vidéo-informatique et un petit robot Mitsubishi RM101.

Au Département de génie électrique, le D^{r} R. Doraiswami travaille à l'élaboration d'un contrôleur numérique pour un système en boucle fermée contenant un filtre et un stabilisateur numériques. L'objet de ces recherches est de contrôler des machines, notamment des robots, afin de faire le travail plus rapidement et avec plus de précision. Le D^{r} Balasubramanian du même Département, travaille dans le domaine de la commande numérique multivariable, dont la commande de machines à commande numérique utilisant un microprocesseur.

Les disciplines de recherche sont : la modélisation géométrique, les systèmes de vision, les systèmes de fabrication flexibles, le soudage par

robot, l'élaboration de capteurs, la commande adaptative, la cinématique des robots, la modélisation du volume de travail, le traitement d'images, la reconnaissance des formes, la commande numérique, la conception de séquenceurs de robotique et la détermination du trajet optimal dans les volumes de travail des robots. L'élaboration d'un centre de travail flexible et d'un centre de soudage robotisé sont considérés comme les plus importantes réalisations faites à ce jour.

IV) Références bibliographiques

1. Bonham, D.J., The role of industrial robots in CAD/CAM, Miconex 82, communication de conférencier invité.

2. Bonham, D.J., Mansen, G., Adaptive control of a 3-axis milling machine, Les journées d'optimisation, 1982.

3. Doraiswami, R., Gulliver, A., A control strategy for computer numerical control machine exhibiting precision and rapidity, Trans. ASME, Vol. 106, J. of Syn. Syst. & Measurement, pp. 56-62, mars 1984.

4. Silveira, H.M., Doraiswami, R., New structure for an adaptive servomechanism controller, IEE Proc., Pt.D., 131(2):64-68, mars 1984.

UNIVERSITÉ TECHNIQUE DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE

Département de génie mécanique

Laboratoire de robotique

C.P. 1000
Halifax (Nouvelle-Écosse)
B3J 2X4

Professeur M.R. Kujath
(902) 429-8300
Télex : 019-21566

I) Résumé

Cette Université, en plus de mettre sur pied des cours d'introduction à la robotique pour la première année, a créé, en 1984, le Laboratoire de robotique au moyen d'une subvention de 20 000 $. Les équipements de recherche qu'on y trouve sont : un robot Rhino XR-1, un robot Microbot, une machine à commande numérique automatisée pour la formation et quelques ordinateurs Apple II. Si on obtient les sommes nécessaires, on prévoit acheter deux robots industriels.

Les recherches du professeur Kujath concernent : l'élaboration de structures flexibles et l'optimisation de structures de robot. La construction d'un bras de robot de type "serpent" à plusieurs degrés de liberté destiné à des applications d'inspection s'est traduite par la réalisation de nombreuses sections mécaniques flexibles.

II) Références bibliographiques

Rien pour l'instant.

UNIVERSITÉ TECHNIQUE DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE

Département de génie industriel

Laboratoire de robotique

C.P. 1000
Halifax (Nouvelle-Écosse)
B3J 2X4

Professeur A. Kusiak
(902) 429-8300
Télex : 019-21566

I) Résumé

Le professeur Kusiak s'intéresse aux recherches en robotique depuis environ cinq ans. Même s'il n'y a aucun équipement pertinent au Département de génie industriel, les liens qu'il entretient avec Toshiba Corp. et l'usine d'Okuma du Japon ont produit de très bons résultats. Le professeur Kusiak se préoccupe surtout des systèmes de fabrication, des systèmes de manipulation de matériaux, de systèmes de vision et de la robotique. Son principal objectif est d'élaborer des langages de programmation pour robots évolués. Ses principales réalisations sont des modèles et des logiciels de planification et de programmation de robots, de machines à commande numérique et de véhicules à guidage automatique. Le professeur Kusiak dirige deux étudiants aux études supérieures.

II) Références bibliographiques

Livres

1. Kusiak, A., Modelling and Design of Flexible Manufacturing Systems (A. Kusiak, éd.) (sera publié chez Elsevier au début de 1986).

2. Kusiak, A., Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies (Kusiak, A., réd.) (sera publié chez North-Holland Publ. Co. au début de 1986).

Articles de revues

1. Grossechallau, W., Kusiak, A., An expert system for design of material handling system, Material Flow, juin/juillet 1985 (publication acceptée).

2. Kusiak, A., A unified pattern recognition approach to the representation of part geometry, Int. Journal of Production Research, 22(5):823-830, 1984.

3. Kusiak, A., Analysis of integer programming formulations of clustering problems, Image and Vision Computing, 2(1):35-40, 1984.

4. Kusiak, A., Material handling in flexible manufacturing systems, Material Flow, juin/juillet 1985 (publication acceptée).

5. Kusiak, A., The part families problem in flexible manufacturing systems, Annals of Operations Research, 1985 (publication acceptée).

Articles de comptes rendus

1. Kusiak, A., Robot applications in flexible manufacturing systems, Compte rendu du Congrès Robots 8, Détroit, MI, pp. 3.1-3.13, juin 1984.

2. Kusiak, A., Robots and vision systems in flexible automation, Compte rendu du congrès annuel de la CSME, Halifax, N.-É., pp. 207-224, 1984.

3. Kusiak, A., Production control in flexible manufacturing systems, dans : Rotary Metalworking Processes, (Kobayashi, E., réd.), North Holland, pp. 473-481, 1984.

4. Kusiak, A., Modelling and solving of objectif grouping problems in CAD/CAM, Compte rendu du Neuvième Congrès canadien sur la mécanique appliquée, Saskatoon, pp. 785-786, mai 1983.

3.2 Centres de formation

Dans la section suivante sont décrits les centres de formation en robotique. On entend par là les collèges de l'Ontario (bien qu'il y en ait dans d'autres provinces) où des programmes de technologie de la robotique sont offerts. Il convient de remarquer que les universités déjà décrites sont aussi des centres de formation, même si la formation qu'on y dispense est plus théorique et traite de la commande, de la conception, des principes de fonctionnement et d'autres sujets analogues.

La mission des collèges est d'enseigner, de former des techniciens et de transférer la technologie. Bien que ces collèges de technologie aient peu de lien avec la recherche en robotique (sauf peut-être pour la gestion industrielle), on en parle ici afin d'indiquer les équipements d'enseignement de la robotique qu'ils possèdent et qui pourraient éventuellement servir à l'industrie ou aux universités à des fins de recherche. Étant donné que ces collèges ne sont intéressants pour ce guide que du point de vue des équipements qu'ils possèdent, dans les entrées qui les concernent on ne nomme que leurs équipements de formation en robotique et les personnes qui travaillent dans ce domaine.

COLLÈGE ALGONQUIN

200 Lees Avenue
Ottawa (Ontario)
K1S 0C5

Monsieur C.N. Tite
(613) 598-3303

Le programme de la technologie de la robotique a été créé en novembre 1984.

I) Équipement de robotique pour la formation et l'enseignement

Robot IBM 7545
Système de vision Zenotech
Système de CAO Orcatech 2000

II) Personnes travaillant en robotique

C.N. Tite	Coordonnateur	CAO/FAO
P. Casey	Assistant de recherche	Infographie

CENTENNIAL COLLEGE
OF APPLIED ARTS & TECHNOLOGY

C.P. 631, succursale A
Scarborough (Ontario)
M1K 5E9

Monsieur N.G. Eley
(416) 752-4444

Le programme de la technologie de la robotique a été créé en 1982-1983.

I) Équipement de robotique pour la formation et l'enseignement

Laboratoire Cincinnati-Milacron	(1500 pi^2)	Robot C-M T3
Laboratoire PUMA	(1375 pi^2)	2 robots Puma 560
Laboratoire PRAB	(750 pi^2)	robot PRAB 4200
Laboratoire ASEA	(150 pi^2)	robot ASEA MHU junior
Laboratoire Rhino	(875 pi^2)	15 robots Rhino
Laboratoire de pneumatiques	(1200 pi^2)	

Ordinateur IBM-PC et Digital Mink (PDP-11); important équipement d'entretien de robot.

II) Personnes travaillant en robotique

P. Bentley	Chef, puissance motrice industrielle	Puissance fluidique, robotique
N. Eley	Doyen, technologie des transports et de l'énergie	
J. McCarron	Coordonnateur	Puissance fluidique, robotique
R. Pavlovich	Directeur de programme	Puissance fluidique, robotique
R. Day		Robots ASEA, ordinateurs
W. Elehew	Maître d'enseignement	Robots PUMA, organes terminaux
G. Noble	Maître d'enseignement	Robots CINCI, électronique
T. Sanderson	Maître d'enseignement	Robots Rhino, mécanique

RYERSON POLYTECHNICAL INSTITUTE

Centre d'enseignement de la technologie avancée (CATE)

350 Victoria Street
Toronto (Ontario)
M5B 2K3

Monsieur D. Hall
(416) 979-5106

Centre créé en janvier 1984

I) Équipement de robotique pour la formation et l'enseignement

Robot IBM 7535
Robot ASEA IRB 6/2
Système de CAO utilisant un IBM 4381 (12 moniteurs et périphériques)

II) Personnel travaillant en robotique

Williams	Directeur de programme - Centre flexible/Fabrication intégrée automatisée	CAO
Carter, W.	Professeur	Robotique
Miscocks, P.	Professeur	Systèmes de vision
Nemeth, A.	Professeur	Robotique

SENECA COLLEGE
OF APPLIED ARTS & TECHNOLOGY

1750 Finch Avenue E.
North York (Ontario)
M2J 2X5

Dr D.E. Coates
(416) 591-5050
Télex : 06-966659

Le programme de la technologie de la robotique a été créé en 1984.

I) Équipements de robotique pour l'enseignement et la formation

Robots :	Microbot, Hitachi Technovate, ADEPT1, Seiko PN700
Équipement à commande numérique automatisée :	Fraiseuse verticale à trois axes Mycentre, tour à CNA Okuma et Howa Act 4
Équipement de CAO :	Auto-trol S7000, S5000 sur VAX 11/780 et PLOT 10 Tektronix
Équipement FAO :	Graphiques CN MDSI (y compris Compact II), ICAM CAM.APT
Équipement de simulation :	ANEVENT, DYNAMO, SIMAN, GPSS
FEM/FEA :	ANSYS

II) Personnes travaillant en robotique

D. Coates	Chef, génie mécanique	Simulations
C. Flacks	Doyen du programme de technologie	Systèmes de commande électroniques
G. Dunsford	Maître d'enseignement	Procédés de fabrication Planification
M. Peros	Maître d'enseignement	Systèmes électro-mécaniques

4.0 TRAVAUX DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT DANS LES SECTEURS PUBLIC ET PRIVÉ

Dans ce chapitre, on établit le profil de centres de recherche et de développement en robotique du gouvernement (section 4.1) et de l'industrie (section 4.2). Toutes les entrées sont organisées de la même façon. Il s'agit d'abord de donner un historique du cadre de recherche, de définir les activités de recherche et de développement et d'énumérer les équipements; ensuite, on énumère les autres personnes ressources et, dans les quelques cas où cela s'impose, on donne la bibliographie des publications des personnes travaillant à cet endroit. Comme dans le cas du chapitre 3, les entrées sont placées par province selon le rang alphabétique.

4.1 Secteur public

Dans ce secteur, les activités de recherche et de développement ont lieu dans des laboratoires de recherche créés par des ministères fédéraux, ou en rapport avec eux, et dans des centres institués par les gouvernements provinciaux. On décrit ici les activités de ces deux types de groupements.

ALBERTA RESEARCH COUNCIL (ARC)

Département du développement industriel
Division de la recherche en génie et en science industrielle

4e étage, Terrace Plaza
4445 Calgary Trail South
Edmonton (Alberta)
T6M 5R7

Monsieur C. Harrison
Conseiller en technologie industrielle
(403) 438-1555

I) Résumé

Récemment, l'Alberta Research Council créait une installation dont le mandat est de venir en aide aux entreprises de cette province afin de leur faire prendre conscience de la venue de systèmes de fabrication sophistiqués et de leur permettre de mettre en oeuvre de tels systèmes pour effectuer leurs opérations. À cette installation pourront être effectués les travaux de recherche et de développement exigés qui s'imposent compte tenu des besoins. L'ARC se livre présentement à d'importantes recherches dans plusieurs domaines étrangers à la fabrication. Créé initialement pour permettre la mise en valeur des ressources gazières et pétrolières de la province, ce Conseil est parvenu à perfectionner la technologie de l'extraction minière utilisée dans la province.

ÉNERGIE ATOMIQUE DU CANADA LTÉE (ÉACL)
LES LABORATOIRES DE RECHERCHE NUCLÉAIRE DE CHALK RIVER

Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

Monsieur N. Smith
Directeur, Contrats de recherche
(613) 584-3111
Télex : 053-34555

I) Résumé

Les Laboratoires de recherche nucléaire de Chalk River furent mis sur pied en 1944 et ont, jusqu'en 1952, fait partie du CNRC. À cette date, ÉACL devenait une société de la Couronne. Il y a maintenant plus de 2000 personnes qui travaillent dans ces laboratoires, parmi lesquelles 400 ingénieurs et scientifiques. Plusieurs divisions des laboratoires mènent des études de R et D en robotique.

La Direction des matériaux combustibles cherche à exploiter la robotique pour automatiser les procédés de fabrication du combusticle nucléaire. Elle vise particulièrement à élaborer les techniques de fabrication en grande série de combustibles à oxydes mélangés pour les réacteurs CANDU. La solution choisie a été d'adapter une large gamme de capteurs analogiques au système de saisie des données afin d'évaluer la performance. Les capteurs utilisés sont : des transducteurs à induction de proximité, infrarouges, ultrasonores, optiques, différentiels à variables linéaires; des cellules dynamométriques piézoélectriques et des extensomètres. Cette Direction procède à une évaluation de l'adaptabilité des robots et des appareils à organe terminal à la fabrication automatique de combustible nucléaire, et éprouve la commande à réaction des robots dans des conditions simulées. On est convaincu que ce programme apportera de nouvelles connaissances sur les effets d'une exposition à long terme de composants de robotique type à des rayonnements ionisés et perfectionnera l'art de la commande adaptative en temps réel des robots et des télémanipulateurs, afin de les appliquer à la téléinspection et à la télémaintenance. On retrouve dans cette Direction un Cincinnati Milacron T3 modèle 766 et un régulateur Version 111, un robot d'assemblage Unimate modèle 103, un système de saisie de données Apple/Isaac et un poste prototype de mesure et de tri de pastilles.

La Direction du développement d'appareillages mécaniques des Laboratoires ne fait habituellement pas de recherche. Sa spécialité est la conception, la fabrication et le développement, de concert avec d'autres groupes des Laboratoires, d'outillage automatisé à vocation spéciale pour l'inspection et la maintenance d'installations nucléaires. Parmi ces tâches, il y a l'inspection

et la réparation de l'outillage d'inspection du noyau du réacteur et le remplacement à grande échelle des canaux de combustible nucléaire.

Par ailleurs, la tâche de la Direction du développement d'essais non destructifs est de parvenir à réaliser des systèmes automatiques et semi-automatiques d'essais non destructifs à des fins de téléinspections. Elle a déjà à son actif le développement de nombreux systèmes de commande utilisant un microprocesseur et des systèmes de manipulation de données; elle envisage l'éventuel transfert de la technologie élaborée à des fabricants d'appareillages. On retrouve dans cette Direction divers ordinateurs, y compris un PDP11, deux systèmes multibus, deux systèmes de développement M6809, un HP-1000 et d'importants ateliers électroniques et mécaniques.

La Direction du contrôle du réacteur se charge d'imaginer des systèmes informatisés pour le contrôle, la sécurité et la saisie de données servant à des applications nucléaires et non nucléaires. Jouissant d'une grande compétence en théorie avancée du contrôle et du calcul en temps réel, cette Direction est d'ores et déjà prête à participer à des travaux de modélisation mathématique, de simulation informatique, de conception et de mise en oeuvre de systèmes de contrôle robotisés. Le Laboratoire d'analyse dynamique de cette Direction comprend un DEC VA-11/750, un PDP-11/45 et un PDP-11/55 utilisés de concert avec deux ordinateurs analogiques AD-5.

II) Autres personnes pouvant être contactées

M. Deverno	Ingénieur résidant	Essais non destructifs
H. Licht	Ingénieur résidant	Essais non destructifs
E.O. Moeck	Chef de direction	Commande nucléaire

III) Références bibliographiques

1) May, F.B., Surette, R.A., Wood, J.C., Robot-assisted manufacturing of gamma-active nuclear fuels: research and development phase, 1983.

2) Wood, J.C., Surette R.A., Automated fabrication for advanced fuels, 1984.

3) Wells, N.S., An automated eddy current in-service inspection system for nuclear steam generator tubing, 1981.

ÉNERGIE, MINES ET RESSOURCES CANADA (EMR)
CENTRE CANADIEN DE LA TECHNOLOGIE DES MINÉRAUX ET DE L'ÉNERGIE (CANMET)

555, rue Booth
Ottawa (Ontario)
K1A 0G1

Monsieur T.R. Blake
Agent de l'information, technologie minière
(613) 995-4059

I) Résumé

CANMET est la direction de recherche et du développement du ministère fédéral de l'Énergie, des Mines et des Ressources. À ce titre, l'un de ses objectifs est de compléter les activités de recherche et de développement industrielles en vue d'accroître le rendement et la productivité des entreprises exploitant des ressources non renouvelables. On y étudie surtout la mise au point d'une technologie de pointe pour l'extraction minière. Le programme où sont regroupés ces efforts de mise au point comprend quatre parties :

1) évaluation des besoins de l'industrie;
2) élaboration d'appareils améliorés automatisés ou télécommandés pour répondre à des besoins immédiats;
3) élaboration d'une configuration de mine facilitant le recours à une technologie de pointe;
4) recherche à long terme d'une technologie d'aide à l'intégration de la robotique dans des systèmes d'exploitation minière entièrement automatisés.

Ce programme regroupe du personnel du CANMET, des consultants engagés à contrat et des représentants de l'industrie minière et de l'industrie des équipements. Actuellement ce programme met l'accent sur l'extraction minière souterraine dans de la roche dure; on s'attend à ce que les résultats trouvés soient entièrement transposables à l'extraction d'uranium. Les laboratoires de recherche minière du CANMET travaillent à la compilation d'un répertoire de tous les projets actuels de recherche minière au Canada afin de le diffuser dans toutes les entreprises.

INCO exécute actuellement un contrat, passé avec le CANMET, en vue de mettre au point et de produire un robot prototype de marteau-poinçon dont le premier usage sera la dangereuse opération de poinçonnage de tuyères dans un convertisseur de cuivre. À terme, on l'appliquera à des tâches de détartrage et de nettoyage de convoyeurs. Un autre contrat a été accordé à Mining Resource Engineering Ltd. pour élaborer un logiciel interactif qui permettra le couplage direct des perceuses et de l'équipement de chargement d'explosifs.

Pendant dix ans, le CANMET a travaillé à un projet d'élaboration d'une fonction de commande et de surveillance opérationnelle, particulièrement à l'élaboration de systèmes de commande et de surveillance en milieu minier. L'aboutissement de ce projet est le système intégré de surveillance de mines dénommé CONSPEC Senturion. Parmi les activités courantes, mentionnons une étude conjointe avec Westar Resources de Sparwood (Colombie-Britannique), qui vise à faire la preuve de l'utilité d'une machine CONSPEC modifiée pour la surveillance de l'atmosphère de méthane explosive d'une mine de charbon. CANMET joue également un rôle actif dans la mise au point de capteurs de paramètres opérationnels clés, capteurs destinés à la surveillance de l'atmosphère des mines et qui mesurent le gaz d'échappement diesel, la poussière dans l'air, les gaz nocifs et les rayonnements.

CANMET emploie huit cents personnes et a un large éventail d'appareils de laboratoire exclusifs, ou presque, au Canada.

II) Autres personnes pouvant être contactées

J.T. Jubb	Sous-directeur général
T.D. Brown	Directeur - Laboratoires de recherche sur le charbon
W.M. Erickson	Directeur - Laboratoires de la metallurgie physique
W.A. Gow	Directeur - Laboratoires des sciences minérales
B.I. Parsons	Directeur - Laboratoires de recherche de l'énergie
J.E. Udd	Directeur - Laboratoires de recherche minière

III) Références bibliographiques

Un catalogue cumulatif de toutes les publications disponibles du Centre est en cours de preparation. Les catalogues annuels sont toutefois disponibles.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA
OTTAWA (ONTARIO) K1A 0R6

Le CNRC est un laboratoire de recherche du gouvernement fédéral qui travaille dans plusieurs domaines scientifiques. La recherche et le développement en robotique s'effectuent dans les trois laboratoires ci-dessus qui s'occupent de recherches en génie.

ÉTABLISSEMENT AÉRONAUTIQUE NATIONAL (CNRC/EAN)

Immeuble M-60, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0R6

Dr G.M. Lindberg
Directeur
(613) 993-2427

I) Résumé

La section d'aéronautique du CNRC s'occupe d'élaborer un système de vision tridimensionnel de concert avec Diffracto de Windsor. Ce système se fixe une cible ou un point physique dans un milieu de géométrie connu et calcule la troisième dimension à partir de cette cible ou de ce point. L'Établissement aéronautique national travaille également sur le bras canadien de la navette spatiale et poursuit ses travaux sur les systèmes de commande de robotique.

DIVISION DE GÉNIE ÉLECTRIQUE (CNRC/DGÉ)

Immeuble M-50, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0R8

Dr J.Y. Wong
Directeur
(613) 993-1384
Télex : 053-4134

I) Résumé

La Division de génie électrique s'occupe de recherches en robotique depuis 1981 alors qu'elle cherchait à créer une technologie de la robotique extéroceptive convenant à l'assemblage flexible. Depuis lors, les travaux en robotique ont pris de l'expansion et occupent maintenant seize chercheurs à

temps plein. On mise surtout sur des travaux de longue haleine qui pourront servir aux futures générations de robots, plutôt que sur des travaux rentables à court ou à moyen terme. On y aborde la robotique du point de vue de la commande au moyen de capteurs d'un système en temps réel, en cherchant surtout à exprimer cette commande d'après des systèmes informatiques réalisables.

Pour atteindre ce but, la Division a élaboré une architecture de système de calcul à multiprocesseur qui lui sert, lorsqu'elle est couplée à des robots et à des capteurs, à étudier des problèmes de commande en temps réel. Viennent compléter ces efforts des travaux d'élaboration de capteurs (surtout capteurs de vision) et des études de techniques de planification et de programmation de tâches de robots extéroceptives.

Parmi les domaines de recherche de cette Division, mentionnons la vidéo-informatique et la reconnaissance d'objets, une caméra télémètre tridimensionnelle à laser, la planification de tâches et la prévention des collisions basées sur la connaissance et l'élaboration de postes de travail perfectionnés pour la modélisation et la simulation de tâches robotisées. Les domaines de spécialité sont les architectures parallèles et le calcul en temps réel, le traitement optique et l'opto-électronique, l'infographie, l'interaction homme-machine, le traitement d'images et l'intelligence artificielle.

Cette Division n'offre pas de service de consultation rétribué, mais reste en contact étroit avec des entreprises surtout pour les aider à commercialiser les nouveaux produits mis au point dans ses laboratoires. La Division de génie électrique s'intéresse à des recherches présentant un risque financier plus élevé que ceux que prennent normalement les laboratoires privés, en vue de démontrer la faisabilité technique de ces projets. La recherche qu'on y effectue est complémentaire à celle effectuée ailleurs. Cette Division reste en communication avec d'autres laboratoires de recherche dont : le Laboratoire des systèmes de la Division du génie mécanique du CNRC, le Laboratoire de soudage robotisé de l'Institut de recherches sur les matériaux du CNRC et divers laboratoires d'universités ontariennes et québécoises.

Cette Division a comme équipement ce qui suit : trois robots PUMA 560, deux ordinateurs VAX, une machine LISP symbolics 3600, trois systèmes de calcul à multiprocesseur, un laboratoire de traitement optique et laser, des systèmes d'affichage, des périphériques graphiques spécialisés, des appareils d'élaboration de techniques de traitement d'images et de capteurs.

II) Autres personnes pouvant être contactées

N. Burtnyk	Chef de section	Systèmes graphiques par ordinateur
J. Domey	Chef de section	Génie électronique

III) Références bibliographiques

Articles de congrès

1. Gentleman, W.M., If only the hardware... (a software designer's lament), Compte rendu de l'Atelier international de l'IEEE sur l'organisation des systèmes informatiques, mars 1983.

2. Rioux, M., 3D camera based on synchronized scanning, Compte rendu du 13e ISIR et ROBOTS, 7 avril 1983.

3. Rioux, M., Compact high speed 3D vision scanner for robotics applications, Compte rendu du Deuxième Congrès canadien sur la CAO/FAO et la robotique, mai 1983.

4. Gentleman, W.M., Using Harmony, Compte rendu de la séance de 1984 du CIPS, mai 1984.

5. Blais, F., Rioux, M., Poussart, L., A very compact 3D camera for robotics applications, Compte rendu du Congrès sur la vision intelligente, hiver 1985, mars 1985.

6. Kasvand, T., Oka, R., Dhome, M., Rioux, M., Segmentation learning and recognition of objects in range camera images, Compte rendu du Quatrième Congrès canadien sur la CAO/FAO et la robotique, juin 1985.

7. Tanner, P. Borrel, P., Liégeois, A., Automatic generation and representation of the work area of a robot arm in a CAD/CAM system, Compte rendu du Quatrième Congrès canadien de CAO/FAO et de robotique, juin 1985.

Rapports de laboratoire du CNRC

1. Abdelmalek, N.N., Robotics bibliography: 1970-1980 (Part A), Applications of industrial robots, ERB-935, 1981.

2. Abdelmalek, N.N., Robotics bibliography: 1970-1980 (Part B), Robotics research and development, ERB-936, 1982.

3. Abdelmalek, N.N., Robotics bibliography: 1981-1982 (Part A), Applications of industrial robots, ERB-959, 1983.

4. Abdelmalek, N.N., Robotics bibliography: 1981-1982 (Part B), Robotic research and development, ERB-960, 1983.

5. Green, D., Chorus - A multiprocessor architecture for real-time control applications, ERB-964, 1983.

6. Elgazzar, S., Green, D., and O'Hara, D., A vision-based robot system using a multiprocessing controller, ERB-971, 1984.

7. Elgazzar, S., Efficient solution for the kinematic positions for the PUMA 560 robot, ERB-973, 1984.

8. Elgazzar, S., Efficient solution for the kinematic velocities and accelerations for the PUMA 560 robot, ERB-974, à paraître.

DIVISION DE GENIE MÉCANIQUE (CNRC/DGM)
LABORATOIRE DES SYSTÈMES

Immeuble M-3, Montreal Road
Ottawa (Ontario)
K1A 0R6

Monsieur P.A. Hamill
Chef, Laboratoire des systèmes
(613) 993-9208
Télex : 053-3386

I) Résumé

Le Laboratoire des systèmes a vu le jour en 1982 lorsqu'il a été décidé de regrouper le Laboratoire d'analyse (groupe de modélisation des systèmes techniques et de similation) et le Laboratoire des systèmes de commande et d'ergonomie (commandes de procédés, simulation de systèmes discrets et ergonomie). Ses activités de robotique font partie intégrante du projet d'automatisation et d'ergonomie.

Leurs principaux domaines de spécialisation sont : les systèmes intelligents, l'automatisation d'avant-garde et les systèmes de surveillance homme-machine. Leurs recherches portent sur la programmation en mode non connecté de robots industriels, sur la commande intelligente de systèmes de capteurs et de robots, sur la cinématique, sur la dynamique, sur la commande de la surveillance de télémanipulateurs programmables et sur des applications de l'intelligence artificielle.

Les tâches de recherche et de développement actuelles visent à élaborer un système de robotique à autoétalonnage qui utilise la vision artificielle pour localiser le point terminal du robot et a recours au mécanisme de l'intelligence artificielle pour réaliser une programmation "implicite", sorte de programmation dans laquelle le robot s'enseigne à lui-même la plus grande partie de la démarche du programme.

Ce Laboratoire est muni d'un PUMA 560 adapté à un VAX 11/780. Un centre d'usinage robotisé flexible comprenant deux machines-outils à commande numérique et un robot ASEA RB 60 pour la production de pièces usinées et l'avancement de la théorie. Il y a également sur place un poste de travail sur l'intelligence artificielle Lambda plus et un capteur de déplacement optoélectronique tridimensionnel sans contact piloté par un LSI 11/23 dont la fréquence de saisie des données est de 10 kHz. On possède déjà, ou on a déjà commandé, divers capteurs d'efforts, tactiles, de proximité et de vision à faible résolution.

Ce centre recrute ses clients parmi les entreprises canadiennes. Ses activités concernent surtout des tâches de recherche et de développement à

haut risque qui visent à satisfaire les besoins à moyen ou à long terme de l'industrie; c'est pourquoi les travaux futurs sont conditionnés par les besoins des industries et les priorités gouvernementales. Ce laboratoire préfère travailler à des projets de collaboration.

Le groupe du Laboratoire des systèmes, quoique de petite taille, dispose de toutes les ressources de la Division de génie électrique et maintient d'excellents contacts avec l'industrie. Son activité permet de combler la lacune qui existe entre les centres provinciaux, comme l'ORC, et la recherche proprement universitaire.

II) Autres personnes pouvant être contactées

E.H. Dudgeon	Directeur
H. Elzorkany	Agent de recherches associé (Systèmes de commande)

III) Références bibliographiques

1. Mufti, I.M., Control of manipulators, 1984.

2. CICS Conference, On the dynamic equations of manipulators, 1984.

3. Mufti, I.H., Equations of motion for rigid multibody systems, 1983.

4. Elzorkany, H.I., Basics of motion and control of robots, 1984.

5. Elzorkany, H.I., Robot programming, 1984.

6. DME, Automatic correction in off line programming of industrial robots 1984.

HYDRO-ONTARIO - DIVISION DE LA RECHERCHE

800 Kipling Avenue
Toronto (Ontario)
M8Z 5S4

Monsieur A.C. MacMillan
Scientifique des projets spéciaux
(416) 231-4111
Télex : 06-984706

I) Résumé

L'Hydro-Ontario possède la plus vaste installation canadienne de recherche et de développement sur la distribution de l'électricité. Cette société envisage les robots et la robotique comme des outils pour solutionner les problèmes réels que rencontre l'industrie de la distribution de l'électricité.

Un certain nombre de chercheurs permanents travaillent à des projets en robotique, et ils attribuent également des sous-contrats à des entreprises canadiennes, dont Spar Aerospace Ltd. qui a mis au point et construit un robot hydraulique en mesure de transporter une charge de 2 500 livres, dont la portée est de 40 pieds et qui ne s'écarte de la cible visée que d'au plus 1/10 de pouce. Ce robot servira au remplacement à grande échelle des crayons de combustible dans les réacteurs nucléaires de l'Hydro-Ontario. On donne ci-après un aperçu d'autres projets de robotique.

Essai de concepts de robotique

Un système en cours d'élaboration a recours à un robot industriel à six axes pour déplacer une sonde ultrasonique sur des surfaces géométriques complexes. Un ordinateur extérieur a été relié au robot, ce qui permet de transmettre la position, la vitesse et les ordres du robot et d'améliorer dans des proportions importantes les possibilités de ce dernier.

Inspection NDE

Un système "genre robot" commandé par ordinateur est en cours d'élaboration pour l'inspection par ultrasons des tubes sous pression. Ce système, grâce à des moteurs asservis, pousse une tête d'inspection dans les tubes sous pression d'un réacteur nucléaire.

Soudage robotisé

Le Laboratoire de recherche de l'Hydro-Ontario se livre à des recherches sur l'utilisation de robots soudeurs pour les réparations. Le robot est

particulièrement avantageux dans ce genre de travail puisqu'il remplace le travailleur qui doit oeuvrer dans un milieu hostile et réduit le risque d'exposition du personnel aux rayonnements.

Un autre projet de recherche exclusif touche l'utilisation des interférogrammes holographiques dans l'élaboration de la vision tridimensionnelle.

L'Hydro-Ontario désire collaborer avec l'industrie ontarienne afin de transférer sa technologie à des entreprises.

ONTARIO ROBOTICS CENTRE (ORC)

743 Monaghan Road
Peterborough (Ontario)
K9J 5K2

Monsieur I.A. Barrie
Vice-président and directeur général
(705) 876-1611

I) Résumé

Il s'agit ici d'une société partiellement financée par la province de l'Ontario et qui se spécialise dans la technique de fabrication. L'ORC est l'un des six centres de technologie avancée mis sur pied par le gouvernement de l'Ontario. Son mandat précis est de conseiller les entreprises et de leur faire connaître les nouveaux systèmes de fabrication d'avant-garde découlant de la commercialisation de la technologie de l'automation qui pourraient augmenter leur rentabilité. Oeuvrant essentiellement dans le domaine pratique, l'ORC consacre ses activités de recherche à maintenir en contact les fabricants ontariens et les laboratoires de recherche afin de communiquer à ces derniers les exigences des premiers.

L'une des plus grandes réalisations du centre est d'avoir trouvé la solution conceptuelle rendant possible l'inspection automatique des tableaux de bord des automobiles au moyen de systèmes de vision, de capteurs tactiles et d'un robot.

Créé en 1982, l'ORC comprend maintenant un personnel de 27 personnes; en 1984 et 1985, il a exécuté 60 contrats de services de consultation et présenté 27 séminaires, ce qui a généré des recettes globales de 1,2 million de dollars. Ses clients sont des fabricants ontariens provenant de diverses industries; mentionnons entre autres les industries de l'automobile, de la fabrication d'embarcations, de biens de consommation, d'emballages d'aliments, de l'électronique, du textile et de la chaussure. Jusqu'à ce jour, le centre a réalisé l'installation de systèmes de fabrication d'avant-garde dans environ trente sociétés.

Le centre possède dans un immeuble de Peterborough dix robots :

robots : Unimate 2570, Nordson NRS-11, Fanvs M-J, American Merlin, ASEA IRB 60/2, Cincinnati Milacron T3-746, Automatix, Martonair M/35, Schrader Bellows Motion Mate, Seiko M700;

systèmes de vision artificielle : 2 Automatix, Pattern Processing Technologies;

intallations de CAO : McAuto (tridimensionnel), installation d'un CAO bidimensionnel, AutoCAD-IBM;

progiciels de simulation informatique : PLACE, SEE WHY, Siman;

ordinateurs : VAX 750, Système de bureautique Digital, 10 ordinateurs personnels.

II) Autres personnes pouvant être contactées

K. Jones	Président
B. Durant	Directeur - Services éducatifs
H. Lowe	Directeur - Services techniques
M. Patrick	Directeur - Génie technico-commercial
T. Spoore	Directeur - Services aux clients

III) Références bibliographiques

1. Hanright, J., Selecting your first arc welding robot, 1984.

2. Lowe, H., An integrated robot vision and tactile automation inspect system, 1984.

3. Pick, C., Animated computer graphics for factory and robotic workce design - a user's perspective, 1984.

4. Szvoboda, G., Employment and the human side of automation, 1984.

CENTRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE DU QUÉBEC (CRIQ)

333, rue Franquet
C.P. 9038
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4c7

Monsieur G. Turp
Directeur de recherches en robotique
(514) 694-3330
Télex : 051-31569

I) Résumé

Ce Centre est une société d'État du gouvernement du Québec fondée en 1968, et dont le mandat est d'aider les fabricants québécois à développer de nouveaux produits et de nouveaux procédés, à améliorer les méthodes de production, à promouvoir le transfert de technologie, et à fournir des services d'informations techniques à toute la communauté industrielle.

Un des objectifs de ce Centre est de favoriser l'implantation des techniques de robotique existantes; il n'envisage donc pas de concevoir lui-même des robots à moins d'en avoir le contrat. Parmi les applications qu'on y a développées, mentionnons les opérations de pallettisation et de moulage sous pression.

Les travaux de recherche et de développement du Centre gravitent autour de la vision artificielle et de la reconnaissance des formes pour les projets d'automatisation générale y compris pour les capteurs de robotique. L'identification des défauts dans les filets de pêche au moyen de la reconnaissance des formes montre bien la sophistication atteinte par le Centre dans cette discipline.

Ses principaux clients sont les petites et moyennes entreprises. Les services d'informations techniques sont fournis gratuitement aux industries. Les travaux de recherche et de développement, les consultations techniques et les analyses sont effectués sur une base contractuelle : 550 contrats auront été exécutés au cours de l'année financière 1983-1984.

Un nouveau bâtiment de 135 000 pieds carrés devrait être achevé en octobre 1985. Le Centre se propose d'embaucher 135 autres personnes en recherche et en développement afin de renforcer sa compétence en technologie de fabrication moderne, spécialement pour ce qui a trait à ses recherches en robotique et en système de fabrication flexible.

On y trouve :
robots : ASEA IRB L/6, IRI, Seiko, Armdroid, Microbot
ordinateurs : 2 VAX 11/750, VAX 785, HP 3000, PDP-11, IBM PCs
et un appareillage de fabrication W/C à 5 axes OKK.

Il entre dans les ambitions du Centre de partager ses réalisations les plus importantes en technologie des systèmes, en robotique et en CAO/FAO avec le Centre de fabrication avancée de l'Ontario (OCAM) et d'autres centres dont le principal intérêt est de promouvoir la diffusion des connaissances.

II) Autres personnes pouvant être contactées

C. Baronet	Vice-président - Unité à Montréal
J. Plourde	Vice-président - Unité à Québec
H. Baumans	Directeur - Électroniques, vidéo-informatique, télécommunications
F. Dugal	Directeur - Matériaux
J.J. Dumas	Directeur - Automatisation, génie industriel, énergie
M. Gagnon	Spécialiste dans les systèmes de fabrication flexible
F. Gauthier	Vidéo-informatique, reconnaissance des formes
R. Larochelle	Directeur - Conception de produits, CAO, analyse mécanique
R. Lavoie	Directeur - Mécanique, machinerie lourde, équipement forestier, CAO

4.2 Secteur industriel

Le secteur industriel est défini, pour ce rapport, comme étant le groupe de compagnies de l'industrie privée chez qui est effectué de la recherche et du développement en robotique. Ces compagnies sont présentées dans les pages qui suivent.

ROBOTIC SYSTEMS INTERNATIONAL (RSI)

9865 W. Saanich Road
Sidney (Colombie-Britannique)
V8L 3S1

Monsieur J. Wilson
Président
(604) 656-0101
Télex : 049-7292

I) Résumé

RSI est une subsidiaire d'International Submarine Engineering Ltd., créée en 1983, afin d'exploiter la technologie de télémanipulation sous-marine de la compagnie mère. Récemment, cette société subsidiaire a ajouté à ses activités l'élaboration de systèmes de commande de robot à microprocesseur afin d'appliquer la technologie de télémanipulation à d'autres milieux hostiles et à la manipulation des déchets dangereux.

RSI s'est fixé comme principaux objectifs de R et D la surveillance de systèmes de robotique asservis à l'homme et des systèmes de téléprésence (techniques de détection améliorées). C'est ce qui a amené cette société à s'intéresser à l'élaboration de capteurs, à l'architecture de commande des robots pour des systèmes de téléopération, aux langages de programmation évolués pour robots en mode connecté et non connecté, aux systèmes tolérant des défaillances, aux actionneurs, aux robots commandés oralement et à l'ergonomie des systèmes homme-machine. Cette société poursuit ses travaux de R et D sur la réaction des efforts bilatéraux et sur la manipulation de matériaux dangereux.

Cette société a élaboré une nouvelle génération de télémanipulateurs et de nouveaux concepts de commande maître-esclave, des capteurs robustes et des bras manipulateurs ayant des rapports résistance-poids exceptionnels. À la suite de la conception de robots télécommandés à six jambes pour une oeuvre cinématographique, RSI a entrepris des recherches sur de nouvelles stratégies de marche et leur mise en oeuvre sous une supervision commandée par ordinateur.

Comme projets de recherches caractéristiques, mentionnons la conception et la production d'un robot pour les réparations et l'entretien de lignes de transport d'électricité sous tension; la production d'un robot et de l'appareillage associé qui servent à alimenter en combustible les Torpedos de la marine américaine; un système de manipulation à sept fonctions intégré aux systèmes d'excavation par robots de l'Université Carnegie-Mellon; et des télémanipulateurs et des véhicules télécommandés pour la manutention des déchets dangereux.

Cette société possède une usine de 8000 pieds carrés où sont fabriqués les télémanipulateurs et les systèmes de commande. Elle dispose en plus de certaines installations d'usinage sur place, d'un département de techniques électriques et d'un bureau d'études. On retrouve dans cette usine :

- un véhicule et manipulateur télécommandés pleines grandeurs pour la manutention de matériaux dangereux;
- une réplique pleine grandeur d'un devant de véhicule sous-marin avec un manipulateur opérationnel, un trépied de caméra, des organes d'orientation et la commande par voix.

Le département de la formation renferme trois robots "Excalibur", une table à six axes pour maquettes de manipulateurs servant à des fins éducatives en usine et dans des universités.

II) Autres personnes pouvant être contactées

D. MacDonald	Vice-président, Directeur - Systèmes de commande
B. Higgs	Directeur - Robots éducatifs
T. Peace	Directeur - R & D
B. Ramsbottom	Directeur - Systèmes télécommandés

III) Références bibliographiques

1. RSI Research and Development, IRAP Manarm Project, RSI, 1984.

2. Telepresence - Fact and Fantasy, RSI, 1984.

3. Subsea Manipulators, RSI, 1985.

HORIZON ROBOTICS SYSTEMS (CANADA) INC.

2502 Thayor Avenue
Saskatoon (Saskatchewan)
S7L 5Y2

Monsieur L.T. Oliver
Vice-président exécutif
(306) 934-1557

I) Résumé

Horizon Robotics est une société de consultation en robots industriels fondée en 1984, qui offre des services d'experts-conseils aux sociétés qui se convertissent à des techniques de fabrication d'avant-garde. Voici les services qu'on peut y obtenir : séminaires dans ses locaux ou dans ceux du client, participation directe à l'évaluation des besoins, planification des systèmes, liaison avec le fournisseur et analyse des coûts. Quoique cette société soit en mesure d'offrir ses services à une large gamme d'entreprises, elle se spécialise surtout dans les entreprises agricoles. Ces principaux objectifs de recherche concernent la télémanipulation et les notions de fabrication automatique, y compris la conception de la pince et du poignet.

Cette société dispose d'une superficie de 30 000 pieds carrés dans laquelle sont réparties des salles de séminaire, une zone de CAO/FAO, une bibliothèque en robotique et divers systèmes d'apprentissage comme les Motion Mate MMR1 Microbot Teachmovers, les postes de travail Control Data et des ordinateurs personnels. Parmi les projets d'expansion on envisage l'acquisition d'autres robots et la rénovation de la zone d'intégration de fabrication entièrement automatisée. La société Horizon envisage aussi la mise sur pied d'un centre complet de fabrication entièrement automatisée si les besoins du marché et les perfectionnements en matériel et en logiciel le justifient.

De par sa raison d'être, Horizon recherche la coopération, et c'est pourquoi cette société négocie activement avec diverses sociétés afin de constituer un chapitre de Robotics International pour l'Ouest du Canada, et avec le département de génie de l'Université de la Saskatchewan afin de mettre sur pied des projets de recherche mixtes. Elle maintient des liens très étroits avec plusieurs sociétés comme CGA, American Robot et Schrader Bellows.

II) Autres personnes pouvant être contactées

A. McElwee	Président
B. Kirik	Directeurs des installations
T. Muench	Ingénieur technico-commercial

BATA ENGINEERING

Batawa (Ontario)
K0K 1E0

Monsieur B. Riden
Vice-président et directeur général
(613) 398-6106

I) Résumé

La société Bata Engineering conçoit, fabrique et assemble des machines pour l'industrie de la chaussure. Regroupant plus de 400 travailleurs, y compris 240 ingénieurs, Bata dispose d'un atelier d'études techniques et d'usinage de première classe. Cette société a déjà à son actif plusieurs réalisations technologiques importantes, dont une table programmable de découpage de matériaux munie d'un couteau à jet d'eau, et un système de CAO tridimensionnelle pour la conception de chaussures. Ces deux derniers appareils seront commercialisés. Dans le domaine de la recherche et du développement en robotique, elle a élaboré un bras robotisé et pourrait, dans un proche avenir, fabriquer des systèmes d'assemblage robotisés pour tous les usages industriels.

CLAY-MILL TECHNICAL SYSTEMS INC.

2855 Deziel Drive
Windsor (Ontario)
N8W 5A5

Monsieur J.K. Arner
Vice-président, Fabrication
(519) 944-7902

I) Résumé

Clay-Mill est entré en exploitation en 1974 sous le nom de X-Mation Tool Company. Sa principale tâche à présent est la construction d'outillages spécialisés pour automobiles et de systèmes robotisés destinés à des applications à utilisation intensive. Son installation de Windsor Ontario est connue sous son nom actuel depuis 1983, date à laquelle le personnel de Clay-Mill a mis au point un robot-portique industriel puissant et versatile. Cette société se propose de construire une version de ce robot pour l'industrie automobile, son principal client, de même que des systèmes de robotique complémentaires. Ils ont imaginé un axe tournant qui dote le robot de cinq degrés de liberté sans toucher le moindrement à sa capacité de levage.

Des recherches sont envisagées en analyse des contraintes, des vibrations, de statistiques, en cinématique, en dynamique, en hydraulique et en résistance des matériaux. Le principal objectif de recherche de la société est l'exécution d'une analyse des contraintes de leur robot afin d'établir sa capacité théorique.

Cette société dispose d'environ 30 000 pieds carrés de superficie de fabrication. Clay-Mill a les connaissances techniques et le matériel nécessaires pour la conception et la construction sur place de toute la gamme des outillages pour automobiles et des systèmes de robotique.

II) Autres personnes pouvant être contactées

C. Pearce	Directeur - Ingénierie et production
D. Pearce	Conseiller général

CRC PLUS LTD.

C.P. 163, succursale "A"
Burlington (Ontario)
L7R 3Y2

Monsieur R. Simmons
Président
(416) 787-3642 Toronto
(416) 545-7207 Hamilton

I) Résumé

Il s'agit ici d'une société qui se spécialise dans l'application des micro-ordinateurs à l'automatisation industrielle. Son objectif de recherche est le développement de petits systèmes de robotique complexes; elle a déjà mis au point un régulateur de commande de machine numérique et un robot prototype d'apprentissage. Les autres domaines étudiés sont la commande du mouvement, les langages de programmation de robot, l'adaptation, les asservissements c.c., les logiciels de commande en temps réel, les logiciels de système d'exploitation et le traitement parallèle. Cette société dispose d'un petit robot maison (le CRS-009) et de micro-ordinateurs IBM, Apple et Intel.

II) Références bibliographiques

1. Rafauli, R., et al., A microprocessor control system for an industrial robot, 1981.

2. Rafauli, R., et al., A distributed microprocessor control system for an industrial robot, 1981.

3. Rafauli, R., et al., A continuous path algorithm for robot control, 1982.

DIFFRACTO LIMITED

6360 Hawthorne Drive
Windsor (Ontario)
N8T 1J9

Monsieur T.R. Pryor
Président
(519) 945-6373
Télex : 06-477875

I) Résumé

Diffracto met au point, construit et installe des systèmes de vision artificielle, notamment des robots d'inspection travaillant à partir d'analyses d'images. Il s'agit d'une société lancée en 1973 au moyen d'une subvention du CNRC. Elle dispose maintenant de deux installations : une de 70 000 pieds carrés à Windsor (Ontario) et une autre de 2000 pieds carrés à Troy (Michigan). D'autres emplacements sont prévus pour Windsor, Québec et Winnipeg. Les projets d'expansion pour les deux prochaines années portent sur une nouvelle opération de guidage de robots pour laquelle travailleront 60 spécialistes en recherche et en développement. Une expansion importante de leurs opérations d'inspection par vision artificielle à Windsor est en cours. Diffracto a comme clients des entreprises de l'industrie de la fabrication, et de l'industrie de l'automobile, des entrepreneurs pour la défense et les armées américaine et canadienne. Cette société entretient des rapports très étroits avec GM APMES, la plupart des usines de General Motors et Ford, Hommelerke GmbH (Allemagne), le MEER et le CNRC.

Diffracto, outre les robots d'inspection qui sont son oeuvre, dispose de cinq robots pour la recherche et le développement, un VAX 11-750, huit systèmes PDP-23 et Microvax, et des appareils électro-optiques variés.

Les recherches en robotique de cette compagnie se concentrent surtout sur les robots d'inspection dotés de capteurs de vision artificielle pour l'inspection de pièces d'automobiles, d'ailettes de turbine et d'engrenages. Présentement, cette société collabore avec le CNRC et GM Canada à un projet sur le système de guidage du bras canadien. Ce projet mixte vise à mettre au point des commandes dynamiques de robots recourant à la vision artificielle pour obtenir des machines plus précises, plus aptes à l'assemblage, à la manipulation de matériaux, et pour la vérification de programmes en mode non connecté. Les autres domaines de recherche explorés sont : les robots roulants et les applications militaires. Depuis sa fondation, Diffracto a consacré trente millions de dollars à la recherche et au développement, a mis au point plus de vingt produits commerciaux et détient au-delà de cent brevets.

II) Autres personnes pouvant être contactées

O. Mageniers	Vice-président
W. Pastorius	Vice-président - Commercialisation

MAGNA INTERNATIONAL INC.

Centre de recherche et developpement
36 Apple Creek Blvd.
Markham (Ontario)
L3R 4Y4

Monsieur W.J. Schabereiter
Vice-président, Projets spéciaux
(416) 477-7766
Télex : 06-966856

I) Résumé

Cette société a créé un petit robot d'utilisation limitée pour les applications de type "prendre et placer", robot utilisé de concert avec de l'équipement automatisé. C'est en fait un manipulateur simple, peu coûteux et programmable. Magna n'a participé à aucun autre travail de recherche et de développement en robotique et n'envisage pas d'investir dans cette activité à moins, comme ce fut le cas dans le robot précédent, que ce soit la conséquence naturelle de ses principaux travaux de conception.

PROMATIC INTERNATIONAL LTD.

7518 Bath Road
Mississauga (Ontario)
L4T 1L2

Monsieur B.C. Millar
Président
(416) 677-7991

I) Résumé

Voici une petite société qui travaille au développement de méthodes de fabrication, certaines se situant à la frontière des méthodes et des techniques de la robotique. Leur domaine de spécialité est toutefois le développement de systèmes modulaires normalisés comme des modules d'exécution de tâches, modules de déplacement de pièces et modules de contrôleurs regroupés.

Elle a maintenant achevé la première série, la 50K, et travaille à l'élaboration de la série 30K utilisant des composants de plus petite taille. Les deux séries sont formées de composants pneumatiques, liés, utilisables individuellement ou combinés dans le but de réaliser une large gamme de déplacements industriels. On peut diviser leurs modules en deux grands groupes : le premier repose sur un simple mécanisme de bascule ou de glissement et est conçu pour le pressage, le formage et le perçage; le deuxième comprend des modules de déplacement de matériaux qui se rapprochent beaucoup d'un robot. Une grande partie des machines construites et fournies par Promatic ont recours à des systèmes de commande utilisant un ordinateur personnel.

Même si d'autres sociétés fournissent des modules d'automatisation pour la réalisation de machines de type robot, Promatic est unique pour ce qui est de la fabrication de modules d'automatisation de l'exécution de tâches. Il semble que Promatic veuille concentrer ses travaux de recherche à la fabrication de produits, particulièrement de modules adaptés à l'industrie de la fabrication et de la vente. La construction des modèles et des prototypes s'effectue dans son atelier d'usinage.

II) Autres personnes pouvant être contactées

K.W. Little — Vice-président, Contremaître

SPAR AEROSPACE LTD.
DIVISION DES SYSTÈMES DE TÉLÉMANIPULATEURS

1700 Ormont Drive
Weston (Ontario)
M9L 2W7

Monsieur G. Norgate
Directeur, Recherche & développement
(416) 745-9680
Télex : 065-27360

I) Résumé

Cette division de Spar a été créée en 1977 en réponse à la nécessité d'élaborer un système de téléopérateur pour la navette orbitale de la NASA. Le résultat pratique de cette entreprise a été la production de dispositifs en série fabriqués et conçus pour le dépannage, à l'image du "bras canadien". Depuis, la division travaille activement à l'élaboration d'un téléopérateur pour le remplacement des crayons de combustible des réacteurs nucléaires CANDU. Les plus récents travaux de R et D de cette division mettent l'accent sur un système de dépannage intégré qui servira dans la plate-forme spatiale américaine.

L'objectif général de cette division est de fusionner les notions et les techniques actuelles de la commande de télémanipulateur, de la vidéo-informatique et de l'intelligence artificielle afin de prouver qu'elles peuvent avantageusement améliorer les téléopérateurs d'avant-garde et les systèmes de commande de robots. Même si cette division consacre une grande partie de son temps à la recherche et au développement, ce n'est quand même pas sa principale activité, qui est l'élaboration et la production de téléopérateurs pour des applications spatiales et terrestres. Les disciplines de recherches abordées sont : la commande de mouvement résoluble, la compliance active, la planification de trajectoires, la commande heuristique, la commande de structure flexible, les langages de commande de robot, la représentation cognitive de tâches, l'interface homme-machine et la réaction à la vision. Les principales réalisations sont une liaison de commande en temps réel entre le robot CM-T3 et l'ordinateur principal PE3200, l'adaptation d'un contrôleur de main au CM-T3, l'installation d'un capteur d'efforts et de mouvement sur le CM-T3 et la normalisation des logiciels.

Cette société est ouverte à toutes les coentreprises et favorise beaucoup la collaboration entre l'industrie et les universités. Elle travaille actuellement à des projets conjoints avec le CNRC et l'Institut canadien des recherches d'avant-garde (CIAR). Parmi ses clients, mentionnons le CNRC, la NASA, l'Hydro Ontario et le ministère des Communications.

Elle dispose des installations que voici :

un robot Cincinnati Milacron T3-776 (CM-T3);
un capteur de poignet pour les efforts et les moments ajusté sur le CM-T3;
un manipulateur PaR, modèle 3000;
un ordinateur Perkin Elmer MP5 3200;
un processeur d'images en temps réel Trapix 5500;
un simulateur du bras canadien;
un support à palier à air;
des contrôleurs de mains (réaction aux efforts).

Spar se propose d'agrandir les installations de sa division des systèmes de télémanipulateurs afin d'installer des bancs d'essai de robotique à vocation générale pour l'essai des fonctions de composants, et d'avoir une installation à vocation générale pour la simulation en temps réel et en temps différé de la télémanipulation asservie à l'homme.

II) Autres personnes pouvant être contactées

P. Pickerill	Directeur - Commercialisation, systèmes industriels
J. Stoumann	Ingénieur senior (Vision)
J. Yuan	Ingénieur (Commande de robots)

III) Références bibliographiques

1. Norgate, G., AI: The future in nuclear plant maintenance, 1984.

2. Yuan, J. S-C., Active model control of flexible structures in application to space construction and servicing.

VADEKO INTERNATIONAL INC.

6536 Millcreek Drive, Suite #62
Mississauga (Ontario)
L5N 2M2

Dr G. Whitehead
Président
(416) 821-3222
Télex : 065-28105

I) Résumé

Vadeko, créée en 1981, est une firme d'experts-conseils dans le domaine du génie électromécanique. Elle compte maintenant cinquante-cinq employés. Ses recherches visent la réalisation de produits : la conception et la production d'outils pour organe terminal et de pinces multidigitales spécialisées; la conception de robots à des fins de production commerciale. D'autres disciplines de recherche sont également abordées : la CAO/FAO, la programmation en mode connecté et la simulation graphique. Elle se spécialise particulièrement dans les commandes hiérarchiques et adaptatives, les logiciels d'exploitation en temps réel. Cette compagnie cherche surtout à créer des applications pour les milieux sous-marins et nucléaires, l'extraction minière et les transports ferroviaires.

Vadeko se charge de la planification, de la conception, de l'installation et de la mise en marche de robots industriels. Ses clients viennent de l'industrie nucléaire et du secteur du transport ferroviaire, du CNRC et de la Banque du Canada. On retrouve sur ses tables à dessin les projets d'élaboration d'un équipement d'entretien de réacteurs et ceux d'un système de peinturage multirobot pour l'industrie automobile. Cette société travaille également à mettre au point un système de robotique d'envergure pour l'industrie du transport ferroviaire qui comprendra le téléchargement des programmes dans les robots à partir d'un système de CAO, ainsi que des logiciels, des matériels et des robots de conception spéciale. Cette société agit également à titre de centre d'application de systèmes pour les produits de robotique de Hitachi Ltd., en assurant la formation des clients et le service après-vente.

On y retrouve un robot Hitachi, une unité CAO Computervision, un atelier d'usinage et un laboratoire d'électronique, un calculateur Hewlett Packard HP1000 et dix ordinateurs personnels. Vadeko possède son propre atelier d'usinage et d'applications.

II) Autres personnes pouvant être contactées

Z. Hershtal	Vice-président
C. Butt	Directeur - Systèmes de robots industriels

J. Gibson	Vice-président - Finance et administration
I. Grantmyre	Directeur de programme - Peinture par robots, l'extraction minière
J. Meseltine	Directeur de l'ingénierie
G. Small	Directeur de programme - Logiciel
J. Taylor	Expert-conseil - Conception

INSTITUT DE SOUDAGE DU CANADA

391 Burnhamthorpe Road East
Oakville (Ontario)
L6J 6C9

Dr A.G. Glover
Directeur de technologie
(416) 845-9881

I) Résumé

Cet Institut est un regroupement d'organisations professionnelles canadiennes dans lequel on retrouve les principaux fabricants de métaux, des compagnies d'approvisionnements et de services, des organisations de transports du gaz et du pétrole par pipelines, des compagnies de services publics, des compagnies de transports et quelques petites sociétés spécialisées dans le soudage. Cet Institut effectue des recherches à l'Institut de génie des matériaux du CNRC, à Boucherville, au Québec. Ce dernier Institut travaille à la recherche de nouveaux moyens d'automatisation du soudage.

Une facette de leurs recherches porte sur la commande adaptative comme la pénétration au moyen de la surveillance de groupe de soudures par une technique infrarouge.

Le Laboratoire de l'Institut de génie des matériaux est peut-être le laboratoire de soudage le mieux équipé en Amérique du Nord avec ses systèmes commandés par ordinateurs, ses ordinateurs, ses équipements de soudage y compris un gros robot de soudage industriel.

L'Institut offre à ses membres l'assistance technique, met sur pied des programmes de recherches et dispense l'apprentissage modulaire.

WESTINGHOUSE CANADA INC.

C.P. 510
120 King Street West
Hamilton (Ontario)
L8N 3K2

Monsieur B. Teal
Directeur, Technologie en production industrielle
(416) 522-8811

I) Résumé

Les services de productivité industrielle de Westinghouse Canada comprennent cinq robots industriels. Ils se chargent de mener des études de faisabilité pour des applications recourant à des techniques d'avant-garde, comme la robotique. Au surplus, ils ont la faculté de simuler des améliorations de productivité suggérées par le personnel d'exploitation. Ces services sont réservés à la seule compagnie Westinghouse et leur mandat est d'aider cette dernière à atteindre ses objectifs pour ce qui concerne l'inventaire, la productivité, la qualité et la compétition au niveau international. Ils préparent également pour le personnel de Westinghouse des séminaires sur la sensibilisation à la robotique, sur l'inspection automatisée et sur les unités de travail d'assemblage par robots.

XENOTECH SYSTEMS INC.

101 Trillium Drive
Kitchener (Ontario)
N2E 1W8

Monsieur J.A. Ford
Président
(519) 893-3730

I) Résumé

Filiale d'Automation Tooling systems, Xenotech a mis au point le système de vision intelligent X10, un système binaire, travaillant sur quatre niveaux de gris et programmé pour être conduit par des menus. C'est le seul système de vision artificielle sur le marché commandé par un ordinateur personnel, soit l'IBM ou l'Apple. Avec ce système, on peut faire de l'inspection, de la commande de robot, du calibrage, de la reconnaissance de caractères et de la reconnaissance de codes à barres. Le coût d'achat de ce système est relativement peu élevé du fait de sa compatibilité avec des ordinateurs personnels (environ 15 000 $).

II) Autres personnes pouvant être contactées

K. Woerner	Président
G. Wooten	Vice-président

SERVO ROBOT INC.

1401, rue Graham Bell
Boucherville (Québec)
J4B 6A1

Monsieur J.P. Boillot
Président
(514) 655-4223
Télex : 05-267624

I) Résumé

Il s'agit ici d'une société de Montréal fondée en 1983 pour imaginer, fabriquer et livrer des postes de travail de fabrication flexible pour le soudage à l'arc. La recherche et le développement comptent pour la majeure partie de ses activités.

Cette société exécute des recherches subventionnées par le CNRC en vue de réaliser un système de vision intelligent pour robots. Servo-Robot mène de concert avec CLOOS, une société allemande, un programme de R et D et dispose en plus des droits exclusifs de distribution, pour l'Amérique du Nord, des systèmes de soudage robotisés de cette compagnie.

Les principaux objectifs de recherche sont l'élaboration du SERVO-ARC, système de pistage de cordon de soudure pour les applications de soudage pulsées sous atmosphère inerte avec électrode fusible; d'un système de vision intégré pour les robots de soudage à l'arc; et d'un système de contrôleur intelligent et de programmation pour les robots de soudage. Un des systèmes de vision artificielle mis au point repose sur la triangulation laser. L'une des disciplines de recherche concerne la commande adaptative du procédé de soudage au moyen de caméras à semiconducteurs et infrarouges placées dans des systèmes prototypes pour le pistage en temps réel des assemblages et la commande de groupes de soudures. Il s'agit ici de recherches dont les résultats pourraient trouver d'intéressantes applications dans d'autres domaines de la robotique où il est nécessaire d'effectuer de la commande en temps réel et où l'on a besoin de la vision artificielle.

Servo-Robot possède deux robots pour la recherche et le développement du soudage à l'arc, un système de développement MOTOROLA, des systèmes de vision, un équipement de laboratoire électronique et des équipements d'usinage, de fabrication et de soudage. Les projets d'avenir font état d'une usine de fabrication de périphériques de robots, comme les positionneurs de robotique.

Cette société recrute ses clients parmi les fabricants de tous genres qui ont recours à des opérations de soudage. Elle se spécialise dans le transfert de technologie pour le compte des universités et des laboratoires canadiens.

II) **Autres personnes pouvant être contactées**

A. Galibois	Vice-président
F. Ferrie	Directeur de projet, Vision artificielle et robots
J. Hamel	Directeur
P. Poillot	Directeur

III) **Références bibliographiques**

Nombreux rapports sur la vision artificielle pour le soudage robotisé, la commande adaptive de procédé du soudage, etc.

INSTITUT DE SOUDAGE DU CANADA - CENTRE QUÉBÉCOIS

2401, rue de la Province
Longueuil (Québec)
J4G 1G3

Monsieur B. Graville
Directeur, développement des programmes
(514) 651-5086
Télex : 055-61622

I) Résumé

L'Institut de soudage du Canada crée des robots pour le soudage et se préoccupe surtout du domaine de la vision (pistage des cordons de soudure). Cet Institut se penche sur la détection infrarouge et acoustique en vue de contrôler le soudage.

Les principaux objectifs de recherche de cet institut concernent l'application de l'ordinateur à la commande des systèmes de soudage. Ses principales réalisations sont la mise au point et la démonstration d'un système infrarouge passif de soudage qui comprend le pistage du cordon de soudure et le contrôle de la chaleur délivrée.

La plupart des travaux de l'Institut de soudage sont faits pour le compte d'entreprises et, actuellement, l'Institut a des clients étrangers.

II) Références bibliographiques

À paraître

1. Fafard, P., Boillot, J.P., Conception d'un contrôleur à micro-ordinateur dédié au soudage adaptatif, Institut international de la soudure, 1985.

Publications

1. Boillot, J.P., Cielo, P. Bégin, G., Michel, C., Lessard, M., Fafard, P., Villemure, D., Adaptive welding by fiber-optic thermographic sensing, 1983.

2. Boillot, J.P., Bégin, G., Real-time adaptive welding systems, Congrès sur le soudage dans les projets énergétiques, 20 et 21 septembre 1983.

3. Boillot, J.P., Bégin, G., IR vision applied to adaptive welding, 97e Congrès de l'Institut canadien des ingénieurs, du 25 au 27 avril 1983.

4. Boillot, J.P., Bégin, G., Welding adaptive functions performed through infrared (IR) simplified vision scheme, SPIE, Robovision et commande extéroceptive, du 7 au 10 novembre 1983.

5.0 CONCLUSIONS ET COMMENTAIRES FINALS

Ce guide index des travaux de recherche et de développement en robotique faits au Canada découle d'une enquête menée auprès des universités et des entreprises. On y trouve l'information de base sur l'activité de divers centres de recherche, organisée de façon à rendre plus facile la communication entre les personnes et les groupes de chercheurs aussi bien canadiens qu'étrangers.

Cette enquête menée par l'équipe de l'Université de Toronto et de l'Ontario Robotics Centre a mis en évidence : i) un immense intérêt pour la recherche et le développement en robotique; ii) l'existence de nombreux centres qui s'y consacrent depuis déjà quelques années; et iii) l'existence d'un nombre de centres, encore plus grand, qui sont en train de se bâtir un programme de recherche en robotique.

De façon générale, on peut dire que la quantité et la qualité des travaux effectués à travers le Canada est impressionnante, et ce qui l'est encore plus, c'est le potentiel considérable qu'on retrouve dans certains centres.

La méthodologie de collecte des informations et de rédaction de ce guide doit être jugée acceptable, compte tenu des contraintes imposées par le Conseil national de recherches. Les oublis et les erreurs d'interprétation que l'on pourrait y trouver s'expliquent principalement par la courte durée de l'étude. Toutefois, il convient de faire remarquer que plusieurs centres n'ont pas répondu du tout au questionnaire ou y ont répondu sans y apporter tout le soin nécessaire pour l'obtention d'informations précises et complètes. Les responsables de ce guide index n'ont ménagé aucun effort pour s'assurer que son contenu est un reflet fidèle de l'ensemble des informations contenues.

Tout au long de cette étude, il a été évident que son but était de recueillir des faits et non d'évaluer les travaux. Toutefois, l'équipe de l'étude a signalé, du moins globalement, les centres qui étaient les chefs de file dans un domaine et ceux appelés à se développer. La principale restriction est que dans quelques cas ni les ressources humaines, ni le financement, ni les besoins ne justifient les travaux effectués. En particulier, on croit qu'on devrait faire connaître plus abondamment ce qui se passe aux États-Unis, au Japon et en Europe afin d'éviter qu'on entreprenne, ici, des travaux déjà effectués ailleurs. En outre, nous tenons à insister sur l'importance d'accroître la participation d'auteurs canadiens aux revues internationales.

En général, nous avons trouvé, sauf pour quelques centres particuliers, que le niveau de financement n'était pas suffisant. Ce domaine de recherche est d'une importance vitale pour le pays, et il devrait être financé suivant son importance. Ce dernier commentaire concerne les organismes subventionnaires gouvernementaux, les entreprises et les centres de recherche. La communauté scientifique doit innover et communiquer ses innovations afin de susciter l'intérêt et le soutien. En revanche, le développement des recherches dans ce domaine est tributaire d'un plan de financement à long terme de la recherche. Ce sont les organismes subventionnaires gouvernementaux qui à cet égard doivent jouer le rôle le plus important.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Aleksander, I., (rédacteur consultant), Directory of world research and development activities, The International Robotics Yearbook, Kogan Page Ltd., Londres, Angleterre, pp. 229-233, c1983.

2. Manning, E., Cerone, N., Molt, R., Mylopoulos, J., Vaucher, J., Towards a Canadian fifth generation research plan, Canadian society for fifth generation research, ébauche 3, 28 novembre 1984.

3. McCalla, G., Cercone, N., CSCSI/CSEIO directions for Canadian artificial intelligence, 27 février 1984.

4. SME Directory of Robotics Education and Training Institutions in Colleges, Universities and Technical Institute, Dearborn, Michigan, avril 1984.

5. Conseil des sciences du Canada - Institut canadien des recherches avancées, liste des invités, Ottawa, conférence de mars 1984.

6. Commonwealth Universities Yearbook 1983, Association of Commonwealth Universities, vol. 2, C-H, pp. 832-1303.

7. Birk, J.R., Kelley, R.B., An overview of the basic research needed to advance the state of knowledge in robotics, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-11, No. 8, pp. 574-579, août 1981.

8. Book, W.J., A perspective on robotics research and this issue, Transaction of the ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 102, pp. 106-107, juin 1981.

9. Schreiber, R.R., (rédacteur permanent), Research in robotics: Some critical issues, Robotics Today, pp. 66-71, août 1984.

10. Reid, K.N., Cohen, R., Garrett, R.E., Robins, M.D., Winer, W.O., Research needs in mechanical systems, Mechanical Engineering, pp. 29-43, mars 1984.

11. Goldenberg, A.A., et ses collaborateurs, proposition d'un guide index de la recherche et du développement en robotique au Canada, soumis au CNRC, octobre 1984.

ANNEXE A

"Guide index de la recherche et du développement en robotique au Canada"

Questionnaire

University of Toronto
Department of
Mechanical Engineering

5 King's College Road,
Toronto, Ontario, Canada,
M5S 1A4

RE: Guide to Robotics R&D in Canada

As explained in the accompanying notice from the National Research Council, our Robotics and Automation Laboratory has been selected to develop a guide to robotics research and development in Canada.

Recognizing the nature of robotics R&D and the nature of the intended report, the information required will be obtained, where possible, by direct visits to the research locations. In other instances, and even where direct visits are appropriate, the enclosed questionnaire will form an efficient basis for recording and gathering the necessary information and presenting it in a coherent form. In most instances, the information requested is believed to exist in a readily available form, such as supplementary reports, brochures, etc. which will facilitate questionnaire responses. We urge all concerned to devote the small amount of time necessary in consideration of the benefit which will result. It is intended that each participating organization will receive a copy of the resulting report.

The importance of this project cannot be overstated. In order to increase our research community's awareness of national robotic developments and to increase international awareness of Canadian developments and capability, an intensive guide to robotics research and development within Canada is required. This guide will be a valuable reference to both the Canadian and international communities interested in integrating research developments. In addition, the guide would aid in the selection of future research areas. For the international community, the robotics research and development guide will clearly define the direction and extent of robotics research within Canada and will illustrate the advanced capabilities which we, as a nation, possess.

Bearing in mind the importance of the data which you are asked to provide, I once again ask that you devote an appropriate amount of time to completing the attached questionnaire.

Should you have any comments or questions, please feel free to contact me at (416) 978-3049. Thank you for your time in this matter.

Sincerely,

Andrew A. Goldenberg
Associate Professor
Robotics and Automation Laboratory Head

AAG/fq
Enclosure

National Research Council Canada
Conseil national de recherches Canada

Institute for Manufacturing Technology
Institut de technologie en production industrielle

Ottawa, Canada
K1A 0R6

Guide to Robotics R&D in Canada

Recognizing the potential for the application of robotics technology in a wide range of functions and services, there is a need to develop a guide to robotics research and development in Canada as a readily available document or report. This report will be useful in a number of ways such as follows:

- The report will be of value to researchers in universities, government laboratories, industry and elsewhere in planning their on-going work and in using to maximum advantage the work of others.

- Canada is one of a number of countries participating in the Joint Coordinating Forum on International Cooperation in Advanced Robotics. The main purpose of this forum is to facilitate, through international cooperation, the development of advanced robotic systems for applications which will reduce the necessity for people to work in harsh, difficult or dangerous environments. Accordingly, the guide to robotics research and development in Canada will be useful in informing officials and researchers in other participating countries of the interest and capability which exist in Canada and in arranging, where appropriate, Canadian participation in the joint projects which are currently in the planning stage.

- The report will be a useful reference and guide to managers and technical personnel in industry who have a need to know the locations where robotics R&D is being undertaken in Canada plus the nature and level of the work.

Accordingly, proposals were invited by NRC and arrangements subsequently made for members of the Department of Mechanical Engineering at the University of Toronto to gather the necessary information and prepare the text for a report which will be produced by the National Research Council as 'An Index and Guide to Robotics Research and Development in Canada'.

The assistance of those contacted in this project, and as described further in the accompanying letter, is encouraged and will be gratefully received. Please address your reply directly to the University of Toronto, as indicated, who will consolidate and organize the information into report form before printing by NRC.

Canada

AN INDEX AND GUIDE TO

ROBOTICS RESEARCH AND DEVELOPMENT IN CANADA

Questionnaire

Please print or type your answers, and return this questionnaire within the next two weeks to:

Robotics Research Guide
Dr. A.A. Goldenberg
Associate Professor
Department of Mechanical Engineering
University of Toronto
5 King's College Road
TORONTO, Ontario
M5S 1A4

Please attach any documents which will help explain the various aspects of your Centre. Such documents may include, for example, an annual report, other reports, brochures, data sheets, a statement of objectives or mission, a summary of products and services, etc.

Please feel free to answer specific questions in this questionnaire by making specific reference (including page number) to any such attached document which answers the question in a clear and concise way.

If for some reason, a particular question cannot be answered, please return the questionnaire regardless, with as many questions answered as possible. While participation in this collective undertaking is voluntary, we hope that as many organizations as possible will participate to the fullest extent possible and wish to thank all concerned for their assistance and co-operation.

The attached information is provided for use in the proposed NRC publication "An Index and Guide to Robotics Research and Development in Canada'.

Signed: _____

Name: _____

Title: _____

AN INDEX AND GUIDE TO

ROBOTICS RESEARCH AND DEVELOPMENT IN CANADA

Questionnaire: (Please refer to Appendix A before proceeding)

PART I: CENTRE DATA

Name of centre: _____

Postal address: _____

Telephone: _____ Telex: _____

Date of establishment: _____

1) Centre's history and growth:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

2) Facilities (robots, computers, manufacturing equipment, etc.):

_____

_____

_____

_____

_____

_____

3) Affiliation(s):

4) Source(s) and amount of funding:

Source	Amount

5) Fee structure (if any), for external services, if such are provided:

6) Clientele:

7) Plans for expansion (if any):

PART II: STAFF DATA

8) Number of employees: _____

9) Names and titles of principal personnel (i.e. directors, full-time researchers, etc.):

Name	Title	Specialization

10) Names and titles of associated personnel (i.e. part-time researchers, regular subcontractors, etc.):

Name	Title	Specialization

PART III: RESEARCH ACTIVITIES

11) Research areas:

12) Principal research objectives and/or directions:

13) Areas of specialization:

14) Major accomplishments/developments to date:

15) A listing of major software programs either developed or used extensively in the research program:

16) A short list or indication of the other groups or clientele with whom the group most closely relates and communicates:

17) Complete bibliography of reports and papers. (Please indicate which have been published or submitted for publication and any others which are available for distribution to other interested R&D centres):

18) Where available and convenient, please enclose descriptive literature describing your centre or activities, reports available, recently published papers, special publications or other documentation:

PART IV: ASSESSMENT OF RESEARCH CAPABILITIES

19) Please describe how your centre or activities fit into the overall Canadian research community dealing with robotics research and development. Please describe how your research is expected to be of assistance to others:

20) Canada is one of a number of countries participating in the Joint Co-ordinating Forum on International Co-operation in Advanced Robotics.** To what extent do you expect or anticipate that your centre or activities could participate in the joint projects arising from this forum and what research projects would you like to become involved in?

** See Appendix B

APPENDIX A

SUGGESTED AREAS TO BE ADDRESSED WHEN CONSIDERING ROBOTICS RESEARCH AND DEVELOPMENT

The field of robotics research encompasses many engineering and applied science disciplines primarily in computer science and mechanical and electrical engineering. In an attempt to filter the more relevant material (i.e. important advances and state-of-the-art applications) and provide a systematic method of classification, the following areas should be specifically addressed:

Representation/Modeling

- knowledge representation
- world modeling
- learning

Control

- trajectory, planning and control
- kinematic modeling and control
- dynamic modeling and control
- hierarchical control
- co-operative control
- compliance, flexible structures
- kinematic redundancy
- collison avoidance
- fault-tolerance
- optimal control
- adaptive control

Sensors (contact and non-contact)

- pattern recognition (image enhancement and feature extraction)
- sensor development (hardware and software)
- interface
- range, resolution, accuracy

Man-Machine Interface

- remote manipulation
- teaching methods
- languages
- off-line programming and graphic simulation

System Architecture

- parallel processing
- real-time control software
- operating systems software

Gripper and Wrist Design

- compliant wrists
- multifingered hands
- instrumented wrists
- grippers for special applications

Robot Design

- materials
- optimization of work envelopes
- light weight
- dedicated and specialized hardware
- optimization of robot structure

Actuators

- hardware developments
- optimal design
- repeatability, resolution, accuracy

Locomotion

- mobility
- hardware developments

CAD/CAM - Robotics Interface

- software developments
- hardware developments
- automatic factory concepts
- graphic simulation

Applications

- manufacturing, precision assembly
- welding
- inspection and maintenance
- nuclear environments
- space environments
- underwater environments
- agriculture environments
- construction environments
- mining environments
- domestic services environments
- military applications

APPENDIX B

BACKGROUND ON THE JOINT CO-ORDINATING FORUM ON INTERNATIONAL CO-OPERATION IN ADVANCED ROBOTICS

To date, the forum has identified advanced robotic applications in space, ocean, nuclear, mining, agriculture, civil engineering, plant maintenance, fire fighting and rescue operations and services for planning and consideration. Similarly, key technology areas for development, in approximate order of need or priority, are: system architecture, intelligence, sensors, manipulation, man/machine systems, locomotion and actuators.

Based on their own integrated research efforts, countries are preparing to conduct the following co-operative activities:

- Exchange of data/information, researchers/study missions (including workshops and joint site studies at appropriate centres) on the R&D activities for advanced robot systems.

- Suggestions for common standards (robot components, interfaces, communication and languages).

- Establishment of common criteria for evaluation.

- Joint evaluation of technical aspects and joint experiments.

Countries currently involved as members are France and Japan (co-leaders), U.S.A., U.K., Germany, Italy and Canada plus the Commission of European Communities, Austria, Norway and the Netherlands as observers.

ANNEXE B

Centres consultés

(Universités, collèges et organismes du gouvernement et de l'industrie)

Établissements d'enseignement post-secondaires

Vous trouverez ci-après la liste, par ordre alpnabétique, des universités et des collèges que nous avons consultés lors de la production de ce guide index. Outre le nom et l'adresse de la personne ressource, on indique si ce centre nous a envoyé une réponse et si les données reçues figurent dans ce guide index. Quelquefois on a jugé bon de ne pas inclure les réponses envoyées (indiqué par le commentaire "réponse non consignée"), et ce à cause du peu de travaux en robotique effectués à ce moment (sur la foi des indications du répondant) ou du fait que les activités de recherche et de développement ne concernaient pas la robotique (p. ex. CAO/FAO et IA où n'interviennent pas des robots). Des cinquante-quatre questionnaires envoyés aux vingt-sept universités et aux cinq collèges, nous avons reçu quarante-neuf réponses, dont trente-neuf figurent dans ce guide index.

Universités (Centres R & D)

1. Alberta, Universite de — (403) 432-4712
   Département de génie mécanique
   Edmonton (Alberta)
   T6G 2E5

   Attention: Professeur R.W. Toogood
   (Réponse consignée)

2. Alberta, Universite de — (403) 432-5330
   Département de psychologie
   Immeuble des sciences biologiques P220
   Edmonton (Alberta)
   T6G 2E9

   Attention: Professeur T.M. Caelli
   (Réponse consignée)

3. Alberta, Université de — (403) 432-3359
   Département de physiologie
   Immeuble des sciences médicales 7-55
   Edmonton (Alberta)
   T6G 2H7

   Attention: D^{r} R.B. Stein
   (Réponse non consignée - peu de travail en robotique)

4. Calgary, Université de — (403) 284-5771
   Département de génie mécanique
   2500 University Drive N.W.
   Calgary (Alberta)
   T2N 1N4

   Attention: Professeur E.C. Mikulcik
   (Réponse non consignée - peu du travail en robotique)

5. Calgary, Université de — (403) 284-6015
   Département d'informatique
   2500 University Drive N.W.
   Calgary (Alberta)
   T2N 1N4
   Attention: Professeur J.R. Parker
   (Réponse consignée)

6. Carleton, Université (613) 231-2634
Département de génie mécanique et de génie aéronautique
Ottawa (Ontario)
K1S 5B6

Attention: Professeur J.Z. Sasiadek
(Réponse consignée)

7. Carleton, Université (613) 231-7545
École d'informatique
Ottawa (Ontario)
K1S 5B6

Attention: Professeur J. Oommen
(Réponse consignée)

8. Carleton, Université (613) 231-3627
Centre d'études supérieures en conception et
en génie assisté par ordinateur
Ottawa (Ontario)
K1S 5B6

Attention: Professeur J.A. Goldak
(Réponse consignée)

9. Colombie-Britannique, Université de (604) 228-4902
Département de génie mécanique
2324 Main Mall
Vancouver (Colombie-Britannique)
V6T 1W5

Attention: Professeur D.B. Cherchas
(Réponse consignée)

10. Colombie-Britannique, Université de (604) 228-5934
Département de génie électrique
2356 Main Mall
Vancouver (Colombie-Britannique)
V6T 1W5

Attention: Professeur P.D. Lawrence
(Réponse consignée)

11. Colombie-Britannique, Université de — (604) 228-3061
Département d'informatique
6356 Agricultural Road
Vancouver (Colombie-Britannique)
V6T 1W5

Attention: Professeur R.J. Woodham
(Réponse consignée)

12. Concordia, Université — (514) 879-4552
Département de génie mécanique
Campus Sir George William - pavillon B
1455 ouest, boulevard de Maisonneuve
Montréal (Québec)
H3G 1M8

Attention: Professeur R.M.H. Cheng
(Réponse consignée)

13. École Polytechnique — (514) 340-4861
Université de Montréal
Département de génie mécanique
C.P. 6079, succursale "A"
Montréal (Québec)
H3C 3A7

Attention: Professeur R. Baldur
(Réponse consignée)

14. École Polytechnique — (514) 340-4552
Université de Montréal
Département de génie électrique
Montréal (Québec)
H3C 3A7

Attention: Professeur R. Desantis
(Réponse consignée)

15. Laval, Université — (418) 656-2199
Département of génie mécanique
Sainte-Foy (Quebec)
G1K 7P4

Attention: Professeur M. Richard
(Pas de réponse)

16. Manitoba, Université du — (204) 474-9535
Département de génie mécanique et de génie industriel — 474-980
Winnipeg (Manitoba)
R3T 2N2

Attention: Professeur O. Hawaleshka
(Réponse consignée)

17. Manitoba, Université du — (204) 474-8380
Département de génie électrique
Winnipeg (Manitoba)
R3T 2N2

Attention: Dr S. Onyshko
(Réponse non consignée - peu de travail en robotique)

18. McGill, Universite — (514) 392-5480
Département de génie mécanique — 392-5461
817 ouest, rue Sherbrooke — Télex: 052-68510
Montréal (Québec)
H3A 2K6

Attention: Professeur P.J. Zsombor-Murray
(Réponse consignée)

19. McGill, Université — (514) 392-5396
Département de génie électrique — Télex: 052-68510
3480, rue Université
Montréal (Québec)
H3A 2A7

Attention: Professeur M.D. Levine
(Réponse consignée)

20. McMaster, Université — (416) 525-9140
Département de génie mécanique — Télex: 061-8347
1280 Main St. W.
Hamilton (Ontario)

Attention: Professeur H.A. ElMaraghy
(Réponse consignée)

21. Memorial, Université
Faculté de génie
St Jean (Terre-Neuve)
A1B 3X5

(709) 737 8810
Télex: 016-4101

Attention: Dr G.R. Peters, Doyen
(Réponse non consignée - peu du travail en robotique)

22. Moncton, Université de
Faculté de science et de génie
Moncton (Nouveau-Brunswick)
E1A 3E9

(506) 858-4309

Attention: Professeur M.S. Eid
(Réponse non consignée - peu du travail en robotique)

23. Montréal, Université de
Département d'IRO
C.P. 6128
Montréal (Québec)
H3C 3J7

(514) 343-7090

Attention: Professeur N.F. Stewart, Chef
(Réponse consignée)

24. Nouveau-Brunswick, Université de
Faculté de génie
C.P. 4400
Fredericton (Nouveau-Brunswick)
E3B 5A3

(506) 453-4513
Télex: 014-46202

Attention: Professeur D.J. Bonham, Chef
(Réponse consignée)

25. Nouvelle-Écosse, Université technique de la
Département de génie mécanique
C.P. 1000
Halifax (Nouvelle-Écosse)
B3J 2X4

(902) 429-8300
Télex: 019-21566

Attention: Dr M.R. Kujath
(Réponse consignée)

26. Nouvelle-Écosse, Université technique de la — (902) 429-8300
Département de génie industriel — Télex: 019-21566
C.P. 1000
Halifax (Nouvelle-Écosse)
B3J 2X4

Attention: Professeur A. Kusiak
(Réponse consignée)

27. Ottawa, Université de — (613) 231-3246
Département de génie mécanique
Ottawa (Ontario)
K1N 6N5

Attention: Dr Redekop
(Pas de réponse)

28. Québec à Trois-Rivières, Université du — (819) 376-5011
Départment d'ingénierie
C.P. 500
Trois-Rivières (Québec)
G9A 5H7

Attention: Professeur K. Ghosh
(Réponse consignée)

29. Québec à Trois-Rivières, Université du — (819) 376 5011
Départment d'ingénierie - Industriel
C.P. 500
Trois-Rivières (Québec)
G9A 5H7

Attention: Professeur B. Montreuil
(Réponse non consignée - CFAO)

30. Queen's, Université — (613) 547-2878
Département de génie électrique
Kingston (Ontario)
K7L 3N6

Attention: Professeur M.M. Bayoumi
(Réponse consignée)

31. Queen's, Université
Département d'informatique
Kingston (Ontario)
K7L 3N6

(613) 547-6195

Attention: Professeur R. Browse
(Réponse consignée)

32. Saskatchewan, Université de la
Département de génie électrique
Saskatoon (Saskatchewan)
S7N 0W0

(306) 966-5379

Attention: Professeur H.C. Wood
(Réponse consignée)

33. Saskatchewan, Université de la
Département d'informatique
Saskatoon (Saskatchewan)
S7N 0W0

(306) 966-4902

Attention: Dr G. McCalla
(Réponse non consignée - IA)

34. Sherbrooke, Université de
Département de génie mécanique
2500, boulevard Université
Sherbrooke (Québec)
J1K 2R1

(819) 821-7160
Télex: 05-83614

Attention: Professeur M. Brezina
(Réponse consignée)

35. Simon Fraser, Université
Faculté de génie
Burnaby (Colombie-Britannique)
V5A 1S6

(604) 291-4371

Attention: Professeur T. McGeer
(Réponse consignée)

36. Simon Fraser, Université (604) 291-4277
Département d'informatique
Burnaby (Colombie-Britannique)
V5A 1S6

Attention: Dr B.V. Funt
(Réponse consignée)

37. Technologie Supérieure, École de (514) 397-3653
Université du Québec
Département de mécanique
180 est, rue Ste-Catherine
Montréal (Québec)
H2X 1K9

Attention: Dr S. Lequoc
(Réponse consignée)

38. Technologie Supérieure, École de (514) 397-3664
Université du Quebec
180 est, rue Ste-Catherine
Montréal (Québec)
H2X 1K9

Attention: Dr. E. Boridy
(Pas de réponse)

39. Technologie Supérieure, École de (514) 397-3629
Université du Québec
Département de la production automatisée
180 est, rue Ste-Catherine
Montréal (Québec)
H2X 1K9

Attention: Professeur J. Bouchard, Directeur
(Réponse consignée)

40. Toronto, Université de (416) 978-3049
Département de génie mécanique 978-6806
5 King's College Road Télex: 06-218915
Toronto (Ontario)
M5S 1A4

Attention: Dr A.A. Goldenberg
(Réponse consignée)

41. Toronto, Université de (416) 978-6341
Département de génie électrique
10 King's College Road
Toronto (Ontario)
M5S 1A4

Attention: Professeur H.W. Smith
(Réponse consignée)

42. Toronto, Université de (416) 978-6421
Département de génie industriel
4 Taddle Creek Road
Toronto (Ontario)
M5S 1A5

Attention: Professeur E.E. Pickett
(Réponse consignée)

43. Toronto, Université de (416) 978-6025
Département d'informatique
10 King's College Road
Toronto (Ontario)
M5S 1A4

Attention: Md. J. Mager
(Réponse consignée)

44. Toronto Western Hospital (416) 369-5030
Canadian Institute for Advanced Research
c/o Playfair Neuroscience
Pièce #903 North
399 Bathurst
Toronto (Ontario)
M5T 2S8

Attention: Md. D. Oki
(Pas de réponse)

45. Victoria, Université de (604) 721-8610
C.P. 1700
Victoria (Colombie-Britannique)
V8W 2Y2

Attention: D^{r} G.W. Vickers
(Pas de réponse)

46. Waterloo, Université de (519) 885 1211
Département du génie de conception des systèmes Télex 069-55259
Waterloo (Ontario)
N2I 3G1

Attention: Professeur A.K.C. Wong
(Réponse consignée)

47. Western Ontario, Université de (519) 679-3894
Faculté de génie
London (Ontario)
N6A 5B9

Attention: Professeur. J. A. MacDonald
(Réponse consignée)

48. Western Ontario, Université de (519) 679 2461
Département de psychologie
London (Ontario)
N6A 3K7

Attention: Professeur Z. Pylyshyn
(Réponse non consignée - peu du travail en robotique)

49. Windsor, Université de (519) 253-4232
Département de génie mécanique
Windsor (Ontario)
N9B 3P4

Attention: D^{r} W. North
(Pas de réponse)

Centres de formation

50. Algonquin College (613) 598-3303
School of Technology
200 Lees Avenue
Ottawa (Ontario)
K1S 0C5

Attention: Monsieur C.N. Tite, Coordinateur
Technologie de la génie de la fabrication
(Réponse consignée)

51. Centennial College of Applied Arts & Technology (416) 752-4444
C.P. 631, succursale "A"
Scarborough (Ontario)
M1K 5E9

Attention: Monsieur N.G. Eley, Doyen, Division T.I.P.T.
(Réponse consignée)

52. Ryerson Polytechnical Institute (416) 979-5106
Centre d'enseingement de la technologie avancée
350 Victoria St.
Toronto (Ontario)
M5B 2K3

Attention: Monsieur D. Hall, Directeur exécutif, CATE
(Réponse consignée)

53. Seneca College of Applied Arts & Technology (416) 591-5050
1750 Finch Ave. East Télex: 06-966659
North York (Ontario)
M2J 2X5

Attention: Dr D.E. Coates, Président, Génie mécanique
(Réponse consignée)

54. St. Clair College (519) 966-1656
2000 Talbot Road
Windsor (Ontario)
N9A 1S4

Attention: Monsieur K.A. Brown,
Coordinateur de programme
(Réponse non consignée - pas de travail en robotique)

Centres gouvernementaux et industriels

Vous trouverez dans la liste donnée ci-après, par ordre alphabétique, les centres gouvernementaux et industriels consultés lors de la production de ce guide index. Les personnes ressources énumérées sont soit celles à qui on a fait parvenir le questionnaire, soit celles qui ont répondu au questionnaire. Comme l'illustre cette liste, des trente-et-un centres consultés, vingt-trois ont répondu et ils figurent tous dans ce guide index.

1. Alberta Research Council (403) 438-1555
Division de la recherche en génie et
en science industrielle
Département du développement industriel
4th Floor, Terrace Plaza
4445 Calgary Trail South
Edmonton (Alberta)
T6H 5R7

Attention: Monsieur C. Harrison,
Conseiller en technologie industrielle
(Réponse consignée)

2. Bata Engineering (613) 398-6106
Batawa (Ontario)
K0K 1E0

Attention: Monsieur B. Riden,
Vice-président et directeur général
(Réponse consignée)

3. Centre de recherche industrielle du Québec (514) 694-3330
333, rue Franquet Télex: 051-31569
C.P. 9038
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

Attention: Monsieur. G. Turp,
Directeur de recherche en robotique
(Réponse consignée)

4. Clay-Mill Technical Systems Inc. (519) 944-7902
2855 Deziel Drive
Windsor (Ontario)
N8W 5A5

Attention: Monsieur J.K. Arner,
Vice-président, Fabrication
(Réponse consignée)

5. CRS Plus Ltd. (416) 787-3642
C.P. 163, succursale "A"
Burlington (Ontario)
L7R 3Y2

Attention: Monsieur R. Simmons, Président
(Réponse consignée)

6. Conseil national de recherches du Canada (613) 993-0261
Division de génie électrique Télex: 053-4134
Immeuble M-50, chemin Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0R8

Attention: Dr J.Y. Wong, Directeur
(Réponse consignée)

7. Conseil national de recherches du Canada (613) 993-9208
Division de génie mécanique Télex: 053-3386
Laboratoires des systèmes
Immeuble M-3, chemin Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0R6

Attention: Monsieur P.A. Hamill,
Chef, Laboratoire des systèmes
(Réponse consignée)

8. Conseil national de recherches du Canada (514) 641-2280
Institut de génie des matériaux
75, boulevard de Mortagne Blvd.
Boucherville (Québec)
J4B 6Y4

Attention: Monsieur G.L. Bata, Directeur
(Pas de réponse)

9. Consiel national de recherches du Canada (613) 993-9010
Institut de technologie en production industrielle
Immeuble M-16, chemin Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0R6

Attention: Monsieur A. Mayman, Directeur
(Pas de réponse)

10. Conseil national de recherches du Canada (613) 993-2427
Établissement aeronautique national
Immeuble M-60, chemin Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0R6

Attention: Dr G.M. Lindberg, Directeur
(Réponse consignée)

11. Défense nationale, Ministère de la (613) 992-5704
101 Colonel By Drive
Ottawa (Ontario)
K1A 0K2

Attention: Dr F.A. Payne,
Recherche et développement maritimes
(Pas de réponse)

12. Diffracto Ltd. (519) 945-6373
6360 Hawthorne Drive Télex: 06477875
Windsor (Ontario)
N8T 1J9

Attention: Monsieur T.R. Pryor, Président
(Réponse consignée)

13. Énergie atomique du Canada Ltée (613) 584-3311
Les laboratoires de recherche nucléaire Télex: 053-34555
de Chalk River
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

Attention: Monsieur N. Smith,
Directeur, Contrats de recherche
(Réponse consignée)

14. Énergie, mines et ressources Canada (613) 995-4059
Centre canadien de la technologie des minereaux
et de l'énergie
555, rue Booth
Ottawa (Ontario)
K1A 0G1

Attention: Monsieur R.T. Blake,
Agent de l'information, technologie minière
(Réponse consignée)

15. Horizon Robotics Systems (Canada) Inc. (306) 934-1557
2502 Thayor Avenue
Saskatoon (Saskatchewan)
S7L 5Y2

Attention: Monsieur L.T. Oliver, Vice-président exécutif
(Réponse consignée)

16. Hydro-Ontario - Division de la recherche (416) 231-4111
800 Kipling Ave., Pièce #KR295
Toronto (Ontario)
M8Z 5S4

Attention: Md. A.C. McMillan,
Scientifique des projets spéciaux
(Réponse consignée)

17. Institut de soudage du Canada (416) 845-9881
391 Burnhamthorpe Road East
Oakville (Ontario)
L6J 6C9

Attention: D^{r} A.G. Glover, Directeur de technologie
(Réponse consignée; veuillez voir la réponse du Centre québécois)

18. International Nickel Company (705) 682-5210
Sudbury (Ontario)
P0M 1N0

Attention: Monsieur E. Kossatz,
Vice-président, Exploitation minière
(Pas de réponse)

19. Magna International Inc. (416) 477-7766
Research and Development Centre Télex: 06-966856
36 Apple Creek Blvd.
Markham (Ontario)
L3R 4Y4

Attention: Monsieur W.J. Schabereiter,
Vice-président, Projets spéciaux
(Réponse consignée)

20. Northern Telecom Ltd. (416) 275-0960
33 City Centre Drive
Mississauga (Ontario)
L5B 3A2

Attention: Monsieur D. Bowles
(Pas de réponse)

21. Ontario Robotics Centre (705) 876-1611
743 Monaghan Road
Peterborough (Ontario)
K9J 5K2

Attention: Monsieur I.A. Barrie,
Vice-président et directeur général
(Réponse consignée)

22. Ontario Science Centre (416) 429-4100
770 Don Mills Road
Don Mills (Ontario)
M3C 1T3

Attention: Dr E. Mendis, Chef des scientifiques
(Pas de réponse)

23. Pedsco (Canada) Limited (416) 755-3852
12 Principal Road, Suite #2
Scarborough (Ontario)
M1R 4Z3

Attention: Monsieur B. Pederson, Président
(Pas de réponse)

24. Promatic International Ltd. (416) 677-7991
7518 Bath Road
Mississauga (Ontario)
L4T 1L2

Attention: Monsieur B.C. Millar, Président
(Réponse consignée)

25. Robotics International of SME — (416) 451-9150
c/o Monsieur J. Dransfield
Northern Telecom Ltd.
8200 Dixie Road
Brampton (Ontario)
L6T 4B8

(Pas de réponse)

26. Robotic Systems International Ltd. — (640) 656-0101
9865 W. Saanich Road — Télex: 049-7292
Sidney (Colombie-Britannique)
V8L 3S1

Attention: Monsieur J. Wilson, Président
(Réponse consignée)

27. Servo Robot Inc. — (514) 655-4223
1401, rue Graham Bell — Télex: 05-267624
Boucherville (Québec)
J4B 6A1

Attention: Monsieur. J.P. Boillot, Président
(Réponse consignée)

28. Spar Aerospace Ltd. — (416) 745-9680
Division des systèmes de télémanipulateur — Télex: 065-27360
1700 Ormont Drive
Weston (Ontario)
M9L 2W7

Attention: Monsieur G. Norgate,
Directeur, Recherche et développement
(Réponse consignée)

29. Vadeko International Inc. — (416) 821-3222
6535 Millcreek Drive, Suite #62 — Télex: 065-2810
Mississauga (Ontario)
L5N 2M2

Attention: D^{r} G. Whitehead, Président
(Réponse consignée)

30. Westinghouse Canada Inc. (416) 522-8811
C.P. 510
120 King Street West
Hamilton (Ontario)
L8N 3K2

Attention: Monsieur B. Teal,
Directeur, Technologie en production industrielle
(Réponse consignée)

31. Xenotech Systems Inc. (519) 893-3730
101 Trillium Drive
Kitchener (Ontario)
N2E 1W8

Attention: Monsieur J.A. Ford
(Réponse consignée)